

108 年度南沙太平島海洋生態系調查計畫

成果報告

海洋委員會海洋保育署委託研究計畫

中華民國 108 年 12 月

受託廠商：中央研究院

研究主持人：中央研究院生物多樣性研究中心 陳昭倫 博士

鄭明修 博士

研究人員：中央研究院生物多樣性研究中心 陳昭倫 博士

鄭明修 博士

郭兆揚 博士

何旻杰 博士

黃雅怡 博士

鍾愛琪

劉毓興

鄭安怡

郭道仁

陳玉慧

柯金源

海洋委員會海洋保育署委託研究計畫

中華民國 108 年 12 月

目錄

目錄	i
表目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
摘要	1
Abstract.....	2
第一章 緒論.....	3
第一節 計畫緣起.....	3
第二節 計畫目的.....	4
第二章 歷史文獻回顧.....	5
第一節 太平島歷年研究文獻彙整成果.....	5
第二節 近年週邊底棲生態變化.....	9
第三章 太平島周邊海域之珊瑚礁棲地群聚調查與分析結果.....	12
第一節 研究方法.....	12
第二節 生態調查與資料分析.....	22
第四章 長期監測模式檢討與建立.....	28
第一節 2017 和 2019 的結果比較.....	28
第二節 建立長期監測模式.....	32
第五章 討論與建議.....	35
第一節 討論.....	35
第二節 建議.....	38
第六章 太平島海域生態資源保育管理建議.....	39
第七章 參考文獻.....	42
附件一 先期團隊島上海洋生態觀察重點.....	50
附件二 期中報告審查意見回覆表.....	57
附件三 期末報告審查意見回覆表.....	60

表目錄

表 1、太平島測站調查區域 GPS 座標	17
表 2、太平島各測站七大底質類型覆蓋率(%).....	24
表 3、水質監測類別、檢驗項目、監測頻率及檢驗方法表.....	34
表 4、1994 與 2017 於不同測站的營養鹽資料.....	37

圖目錄

圖 1、近年太平島北側與南側在 5m 與 10m 處的底棲類型覆蓋率變化	10
圖 2、1994、2014 和 2017 年石珊瑚屬多樣性組成分析.....	11
圖 3、太平島的四周海岸高潮線均為沙灘。此為太平島北岸中央的沙灘。.....	14
圖 4、潮間帶最近岸的底質主要為珊瑚砂，長滿短小的海草，其間零星散布小塊珊瑚礁石。	14
圖 5、潮間帶區的礁石帶，海草在此區呈現局部零星分布。.....	14
圖 6、潮間帶區的礁岩平台帶（左側）到珊瑚邊緣帶（右側）。後者則開始有豐富的珊瑚群聚，兩者分際明顯。	14
圖 7、珊瑚礁盤邊緣交替分布著垂直岸際走向的潮溝和礁脊。.....	14
圖 8、斜坡外側邊緣轉為陡峭的斷崖地形，斜度接近垂直.....	14
圖 9、珊瑚礁坡峭壁至底部.....	15
圖 10、測站位於珊瑚斜坡之緩坡帶.....	15
圖 11、珊瑚斜坡中的珊瑚陡坡，珊瑚群聚明顯較緩坡豐富多樣。.....	15
圖 12、峭壁底部有大小不等的獨立礁岩，以外為平坦開闊且持續向外延伸的沙地。.	15
圖 13、在珊瑚斜坡以外為緩斜的沙地，偶見礁岩零星散布，其上常有豐富魚類.....	15
圖 14、太平島南側淺礁區處的廢棄漁網。.....	15
圖 15、太平島樣點位置圖.....	17
圖 16、珊瑚礁體檢指標性生物.....	18
圖 17、底質分類示意圖.....	19
圖 19、CoralNet 的操作主介面	20
圖 18、CoralNet 的圖片資料庫	20
圖 20、CoralNet 中的專案主頁面	21
圖 21、不同底質類別的辨識率矩陣.....	21
圖 22、珊瑚生長形於測站間之相對豐度.....	24

圖 23、太平島與墾丁及東沙之小珊瑚入添密度與屬多樣性比較.....	25
圖 24、兩測站的指標性魚類豐度.....	25
圖 25、碑碟貝的體長頻率.....	26
圖 26、星野黑皮海棉於不同測站的覆蓋率.....	26
圖 27、中洲礁上的鳳頭燕鷗蛋.....	27
圖 28、飛翔於空中的鳳頭燕鷗.....	27
圖 29、南北測站的底質大類覆蓋率(%).....	29
圖 30、2017 與 2019 南北測站小珊瑚入添量的比較.....	29
圖 31、2017 與 2019 年的石珊瑚型態群聚分析.....	30

摘要

太平島為南沙群島中最大的天然島嶼，擁有發育完整的珊瑚礁生態系，提供了豐富的生物資源。太平島是我國目前在南沙群島中唯一派駐海巡署進行實質管轄的島嶼。但由於太平島距離台灣甚遠，持續的調查與建立該海域基礎生物多樣性與生態資料是目前進行保育與管理最基本且較為可實行的方法。因此，本年度計畫進行（1）整理並回顧歷年在太平島進行的調查研究成果並歸納其變遷狀況；（2）調查太平島周邊海域珊瑚礁群聚生態；（3）建立珊瑚礁長期監測方法，以及（4）提出太平島海域生態資源的保育管理建議。

太平島的調查文獻最早可以追溯自 1890 年，但對於島上陸域以及周遭海域生物資源量系統性的調查始於 1970 年代，到目前為止已執行過 5 次因應環境影響評估或保護區劃設方案的陸域及海域的太平島生態監測計畫。本年度調查結果顯示，太平島北側的珊瑚礁覆蓋率($45.1\pm2.6\%$)高於南側($33.5\pm5.7\%$)，屬於尚可(25-50%)等級，和 2017 年調查結果(北： $38.3\pm7.9\%$ ；南： $26.5\pm8.2\%$)相比呈現小幅度上升。同時，從殼狀珊瑚藻覆蓋率上也顯示太平島珊瑚礁仍有良好的恢復潛力。前期人員的魚類觀察發現體型變小，而調查結果中也缺乏指標性魚種與大型底棲無脊椎動物，顯示太平島周遭海域嚴重過漁的情形。本計畫建議未來在太平島設立珊瑚礁長期監測測站，延續目前已建立的站點(六個測站，分別位於太平島的東北方、東方、東南方、南方、西方和北方)進行常規性資料收集。同時，於每個樣點設立不同深度的監測區(0-3 米、4-7 米、8-11 米)，收集生態調查項目(底質、魚類與大型底棲無脊椎動物與小珊瑚入添)與相關環境資料，例如水質等。生態監測調查方法建議使用橫截線調查法，調查頻率為一年一次，並可依受到自然或人為擾動(如颱風、海水異常增溫等)的程度增加調查次數，以便了解擾動所帶來的衝擊。在保育管理策略建議方面，除了可以持續進行生態監測計畫充實與累積生物環境資料庫外，更可以開放多元化的國際或民間團體到太平島來進行學術研究或文化體驗等活動，使用軟性且不易引起國際紛爭的方式，逐漸走向「海洋保護區」、「海洋國家公園」，甚或「海洋和平公園」等方向，共同維護太平島珊瑚礁生態與生物多樣性。

Abstract

Taiping Island is the largest natural island in The Spratly Islands, where it houses well-developed coral reef ecosystems that provide abundant bioresources. Taiping Island is also the only one island Taiwan has the sovereignty in The Spratly Islands. However, with its remote location and complex political and economic conflicts between nearby nations, it is imperative to continuously monitor the current ecosystem status and establish the species database. In this project, we addressed this aim by: (1) conducting local and international literature reviews of research related to Taiping Island (Itu Aba); (2) surveying coral reef habitats and community assemblages around Taiping Island; (3) establishing sites to implement a long-term monitoring methodology; and (4) suggesting strategies for conserving and managing the bioresources of Taiping Island.

The earliest survey record of Taiping Island can be dated back to 1890, but a truly systematic ecosystem surveying only began in 1970. There had been several ongoing ecological monitoring projects to evaluate environmental impacts and established marine protected areas. Results from our survey this year showed that the coral coverage on the north side of the island ($45.1\pm2.6\%$) is higher than that in the south ($33.5\pm5.7\%$), both were being categorized as ‘fair’ (25-50%) and had slightly increased from 2017. Most of the substrates were covered by coralline calcareous algae, which indicates a high recovery potential for the future. On the other hand, there were very few indicator fish and invertebrate species, in addition to a reduction of fish size, suggesting severe overfishing in nearby waters. To establish long-term monitoring sites, we proposed using the same sites from the 2017 project in order to maintain consistency. Permanent monitoring sites can be set up at different depths(0-3m、4-7m、8-11m) at each site location to collect environmental data standardized by biodiversity survey methods(substrate, fish, invertebrate and coral recruitment). Here we proposed using line intercept transect method for the benthic community survey. While the monitoring frequency depends on the ultimate goal, we suggest conducting an annual baseline coral reef community survey, with additional surveys following human or natural disturbances. We propose various conservation management strategies, namely maintaining a consistent biodiversity database. Additionally, we suggest opening up Taiping Island for academic research or cultural exchange. This will not only promote the awareness of marine ecology, but also gradually lead to the establishment of marine protected areas, national parks, or even peace parks through sustainable regional cooperation.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

太平島位於南沙群島（Spratly）北部中央（東經 $114^{\circ} 22'$ ，北緯 $10^{\circ} 23'$ ），鄭和群礁上的西北角，距離台灣南部約 1600 公里，是我國轄境最南之處。由珊瑚骨骼和海洋生物碎屑堆積而成 (Gong et al., 2006)。為南沙群島中最大的天然島嶼，全長約 1300 公尺，寬 366 公尺，面積約 0.51 平方公里。南沙群島(Spratly)位於南中國海東南側，是由超過六百五十個珊瑚礁形成之大小島嶼、環礁、岩礁所組成，面積約在 16,000~36,000 平方公里之間，分布範圍超過 500 公里。南沙群島擁有發育完整的珊瑚礁生態系，估計擁有超過 400 種珊瑚(Veron and Hodgson, 1989)，1500 種礁區魚類與 200 種海洋藻類 (McManus, 1994)。由於季節風向與洋流的影響，南沙群島產生的魚類與底棲生物幼苗能進一步被輸送到鄰近國家，補充珊瑚礁生物資源。基於這樣的跨界連通性，南沙群島也可以被視為整個西南太平洋的種源庫(Ablan et al., 2002; McManus, 1994)，甚至可能影響到高緯度國家如日本等珊瑚礁生物補充的來源(McManus, 1992)。但是作為全球被漁業行為影響最嚴重的區域之一(Pauly et al., 1996; Silvestre & Pauly, 1997)，最大的挑戰落在要如何協商管理面積如此廣大的區域，同時抗衡各國經濟與政治間的角力。1990 年第一屆「南海會議」開始針對南中國海的管理問題每年舉行潛在衝突工作坊(Workshop on Managing Potential Conflicts in the South China Sea)，推動將南海潛在衝突轉化成區域合作此一理念。不過此一聯合會基於敏感的政治考量，一直是以”非官方”的角度來進行政府間權責機關的溝通與對話(Song, 2010)，在實質上並不負任何管理之效。而太平島為我國目前在南沙群島唯一佔有主權的島嶼，目前由海巡人員駐守，但由於其地處偏遠，政經情勢複雜敏感，如何能有效達成維護我國在太平島的主權，並同時達到生態保育之目的，極仰賴實地調查收集當地生態或生物多樣性的資料。因此，持續的調查與建立太平島海域基礎生物資料庫，成為目前我們在進行保育與管理太平島時最基本且立即可實行的措施，並能夠對未來欲進一步規劃成立海洋保護區時，提供一個詳實的科學基礎。

第二節 計畫目的

太平島(Itu Aba / Taiping Island)，位於南沙群島北部中央鄭和群礁西北角，為南沙群島中最大的天然島嶼。太平島為亞洲東緣候鳥遷移必經之重要歇腳站（張等，1994），記錄到陸域及海域的多種台灣新紀錄種(邵等，2009、2014；鄭等，2017)，堪稱南沙群島海洋生物多樣性的「熱點」中心。近年來太平島上只有 2005 年底興建的機場跑道與 2017 年的碼頭擴建工程，但南中國海長期以來受到過度漁業捕撈、棲地破壞、海洋污染以及日益增強的氣候變遷衝擊，再加上近來周邊國家以宣示主權為目的，頻頻於南海的各群礁進行「填礁造島」工程，更有可能造成周遭珊瑚礁生態系功能的衰退(Chansang et.al, 1981; Hodgson, 1988)。本年度的工作重點在對太平島海域的珊瑚礁生態系持續進行群聚調查、監測與建立長期觀測樣區，藉以累積其周邊珊瑚礁生態系之基礎資料，並提供保育資源建議作為後續之保育工作之參考。

第二章 歷史文獻回顧

第一節 太平島歷年研究文獻彙整成果

太平島最早出現在文獻中的紀錄，為 Bassett-Smith(1890)對鄭和群島的造礁珊瑚群島所做的描述。台灣最早對於南沙太平島海洋生物的紀錄始於 1970 年代，在太平島四周以釣魚或採集方式所記錄到的 45 種底棲魚類（劉，1975）。1980 年代，由當時的台灣省水產試驗所（現行政院農業委員會水產試驗所）派遣研究人員於太平島進行長期的漁業生物資源調查，記錄到 40 科 186 種魚類、31 科 142 種貝類與 26 科 54 種藻類（吳，1981）。同時期中科院團隊利用水肺潛水及潮間帶採集法，在太平島南方記錄 33 科 173 種魚類，並出版「南沙海底魚蹤」（張等，1982）。接下來一直到 1994 年，才由農委會邀集國內海洋和陸域生態的學者組成之調查團隊，共同完成「南沙生態環境調查研究報告書」。其中記錄珊瑚礁魚類 49 科 399 種、軟體動物 99 種、無脊椎動物 72 屬 91 種、底棲的軟體動物 63 種、甲殼類 27 種、多毛類 14 種、棘皮動物 4 種、陸域維管束植物 109 種與鳥類 59 種。而珊瑚礁的部分，共紀錄到 25 科 69 屬 160 種珊瑚，島的北、東和南側 1-3 米珊瑚覆蓋率皆超過 50%；但 3 米以下的海域珊瑚礁佈滿碎屑，推測可能經常遭受嚴重的天然擾動或人為破壞（戴與樊，1994；Dai & Fan, 1996）。太平島東西兩側的礁台發育較完整，且東側的珊瑚種類歧異度高於西側。其中就珊瑚多樣性而言，珊瑚種數較東沙環礁（Pratas Island, 101 種；Dai et al., 1995）和西沙群島（Paracel Shoals, 127 種；Zou & Chen, 1983）為高。

1994 - 2005 年間因籌建太平碼頭建設一案，政府相關單位曾分別委託不同的民間工程顧問公司來進行施工建設可能性評估與先期規畫。此間也有多位海洋學者陸續分別搭乘艦艇登太平島，進行珊瑚、海洋無脊椎動物、魚類、鳥類及植物資源之調查，但皆無正式報告發表。一直到 2009 年，內政部營建署委託國家公園學會執行「南沙太平島國家公園可行性之評估」計畫，其中除了歷史、人文社會以及政治情勢等有詳細的整理外，還包括陸域、植物、鳥類、陸域無脊椎、海洋生物、海龜、魚類珊瑚等

七類生物之現勘，共記錄到植物 106 種、陸域無脊椎 56 種(40 種新紀錄)、鳥類 13 種(3 種新紀錄)、海草 3 種、藻類 19 種、珊瑚 267 種、魚類 310 種(66 種新紀錄)，均尚不包括過去文獻上之記錄種數(邵等，2009)。2014 年內政部營建署再度委託國家公園學會執行「南沙太平島生物多樣性調查」計畫，此次共記錄到海洋植物 24 科 43 種，浮游動物 4 科 33 種，浮游植物 14 科 26 種，珊瑚 18 科 192 種，甲殼 22 科 53 種，海洋軟體動物 43 科 93 種，其他海洋無脊椎動物 10 科 12 種、魚類 46 科 463 種及海龜 1 科 1 種(邵等，2014)。

行政院海岸巡防署於 2013 年核定「南沙太平島交通基礎整建工程」計畫，興建可停泊 3,000 噸軍艦及救難船的 L 型沉箱式碼頭。針對太平島西南方碼頭預定地進行施工前、中、後的海洋生態調查，使用珊瑚礁體檢方法評估後發現，不論在碼頭施工前、施工中或工程完工後，本島西南方海域的珊瑚覆蓋率皆與過去結果相似，珊瑚礁成塊狀分布且覆蓋率低(施工前平均 15.6%、施工中平均 20.3%、施工平均 16.5%)。指標性生物只記錄到碑碟貝和石斑魚，其他指標性無脊椎生物族群數量皆低，可能和珊瑚覆蓋率不高，無法扮演無脊椎生物食物來源或充當棲所有關(戴，2016)。

2017 年漁業署為了探討劃設及管理南沙群島周邊海域與陸域動植物繁殖保育區管理計畫之可行性，委請中央研究院團隊展開另一次較為全面性的調查。同時整合地理資訊系統與珊瑚、魚類、海草、微生物與漁業資源這些基礎生物資料進入生態經濟評估模型，試圖來推估南沙群島的生態系統服務功能與經濟價值，進一步來研擬保護區劃設範圍。基礎生物資源調查部分共記錄到 34 科 265 種魚類、造礁珊瑚 224 種，藻類 18 目 28 科 78 種。和歷來的調查結果相比，珊瑚覆蓋率同樣呈現島嶼北側略高於南側之趨勢(鄭等，2017)。

2009 年的調查中於太平島東南方觀察到棘冠海星大量出現的現象(邵等，2009)，2017 年進行調查時也有多隻被發現，但是在各測站所觀測到的族群數量尚未達過量(鄭等，2017)。由於棘冠海星是珊瑚的主要掠食者，自 1960 年代晚期以來，棘冠海星族群密集大量出現的大爆發現象，曾造成太平洋和印度洋的許多珊瑚礁區，包括澳洲

大堡礁、菲律賓和印尼等地區珊瑚的嚴重衰退(Baird et al., 2013; Bos, 2010; Pratchett, 2005)。要達到大爆發的規模需要經過一段時間的生物量累積，因此隨時監測棘冠海星的族群數量變化可以作為一種提早預警的防治措施。

另外一個需要注意的現象是星野黑皮海綿，2014 的調查中就已觀察到島的北側有黑皮海綿族群的存在，根據 2017 年的珊瑚覆蓋度調查中估計，島西北測站之星野黑皮海綿覆蓋度為 $27.4\pm19.0\%$ (鄭等，2017)，並進一步披露此一現象於國際期刊上(Yang et al., 2018)。雖然到目前為止星野黑皮海綿體內的藍綠菌和珊瑚之間的生理交互機制仍舊不甚明朗，但是其成長快速與覆蓋珊瑚的特性，使得星野黑皮海綿被視為珊瑚礁生態系中的”黑病”，需要被謹慎的對待與進一步釐清其代表的生態意義。

豐富的生物多樣性與漁業資源在沒有積極的管理政策下都無法長久的持續利用。有鑑於南中國海域具有最高的海洋生物種類豐富度，McManus(1992, 1994)最早提出南沙和平公園 (Spratly Peace Park) 的主張，更在接下來 1997 年的國際珊瑚礁年會上報告成立南沙海洋公園的重要性(McManus and Meñez, 1997)。之後在 1999-2003 年間由世界魚類研究中心支助之下與中研院動物所 (邵廣昭、陳昭倫) 合作進行南中國海生物族群相依性的研究(Ablan et al., 2002; Chen et al., 2004)，發現海洋生物的基因連通性尺度通常橫跨多個國家，為大型海洋生態系(Large Marine Ecosystems, LME)的規模，因此在制訂管理政策時也應該以多邊協同的角度來進行。2010 年 McManus 進一步指出由於南海領土主權的爭議，導致不適當的島嶼陸地開發，進一步造成周遭珊瑚礁生態系的破壞及浪費國家資源在設立軍事據點上(McManus et al., 2010)。他建議設立海洋研究站來累積長期的南海海域監測資料，從學術研究的出發點來逐漸促成南海周遭國家的合作。

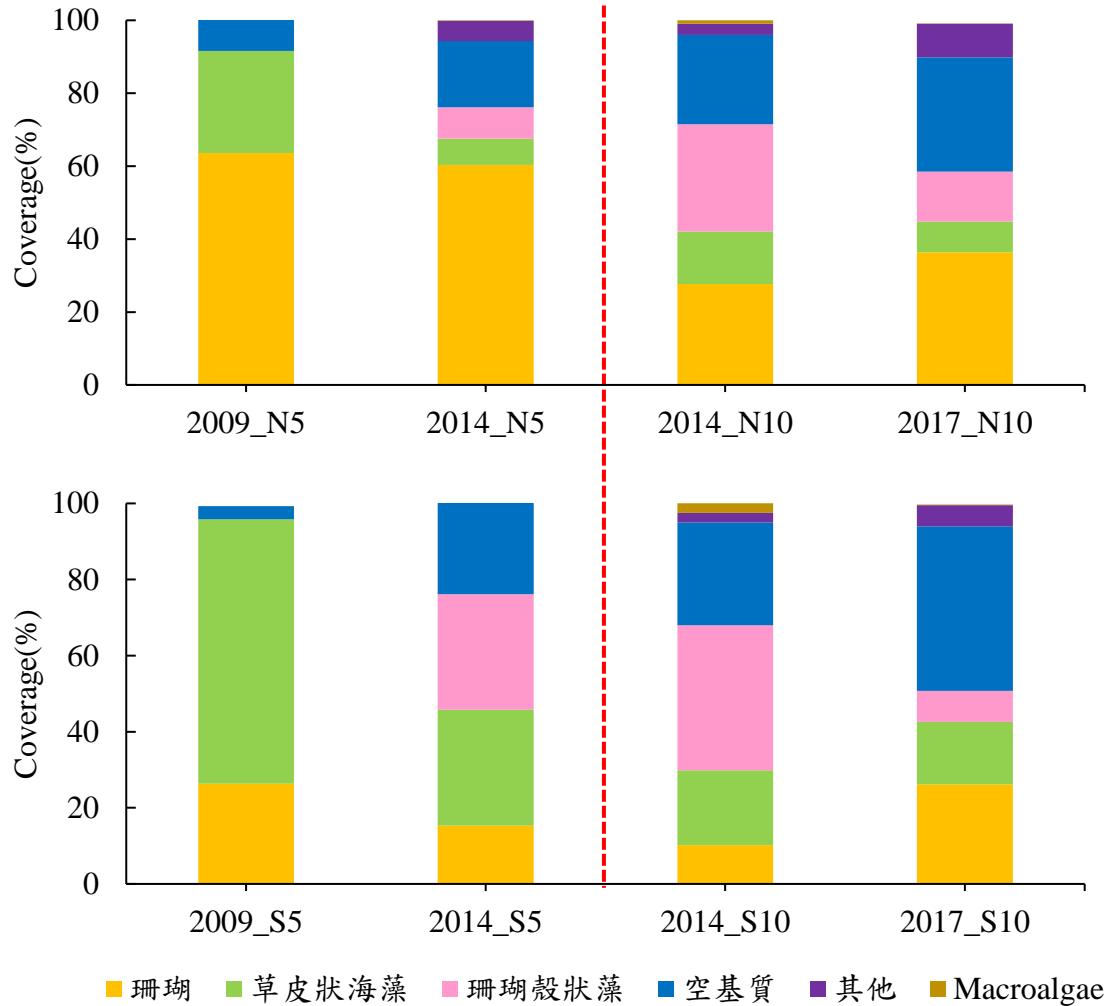
中國在南沙群島填礁造島對於珊瑚礁生態影響甚巨。比對精密衛星影像顯示人工島嶼增加的面積與珊瑚礁消失面積呈現反比，對於部分南沙群島珊瑚生態系可能已造成不可逆的衝擊(Mora et al., 2016)。在南沙群島至少已有 160 平方公里珊瑚礁受損，其中 17 平方公里來自填礁造島，而另外的 143 平方公里則源自過去長時間的建築材

料開採與碑碟貝的採捕(McManus, 2017)。因此，持續的填海造陸行為與過漁已經造成部分珊瑚礁的永久性傷害，更顯示建立南沙群島公園的重要性。南中國海周遭國家必須來共同制訂漁業、環境與礦產資源管理條約來降低緊張情勢，也只有區域的和平才能有效促進漁業與經濟的成長。2019 年出版的 *World seas: an Environmental Evaluation* 中就印度洋到太平洋間的各區域提出整體環境變遷的回顧，尤其多著重於目前海洋所面對的困境與提出未來可能的解決建議；其中南沙群島位處於全球生物多樣性與豐富度最高的區域，每年南中國海的漁獲量中有 2/3 來自南沙群島，而這個區域得在被定位為國際海洋公園的角色下才能確保永續的資源與生產力(Carmen and Ablan-Lagman, 2019)。

第二節 近年週邊底棲生態變化

由於 2009 與 2014 年的水下測站深度為 2-6 公尺處，而 2017 年設立在 8-10 公尺處，故在進行資料整理時分為淺(5m)與深(10m)兩組來呈現。2009 年到 2017 珊瑚礁底棲群聚覆蓋率在南北側各有不同的變化（圖 1）。太平島北側淺處在 2009 年時珊瑚覆蓋率高(63.6%)且生長密集，多為分枝形與桌形珊瑚；2014 年，淺處的珊瑚覆蓋率(60.3%)比起 2009 年來差異不大，但種類組成轉變以葉片或表覆形珊瑚為主；2017 年的調查中發現在深處的珊瑚覆蓋率(36.4%)比起 2014 年(27.7%)來略為增加，不過生長型從團塊與葉片形轉變成以團塊形與表覆型為主。再加上空基質的比例不論深淺皆呈現增加的趨勢，這樣的轉變可能代表自然或人為的擾動強度增加，使得珊瑚組成轉變成以抗擾動的種類為主。大型藻類的覆蓋率極低，多為草皮狀海藻。

太平島南側的淺處珊瑚覆蓋率從 2009(26.3%)到 2014 年(15.3%)下降，草皮狀海藻覆蓋率無論深淺處皆下降並露出空基質，但在深處珊瑚覆蓋率 2014 年(10.2%)到 2017 年(26.2%)有明顯增加，顯示南側珊瑚礁已逐漸從 2014 年開始進行的太平島碼頭建設工程影響後恢復。這三次的珊瑚覆蓋率都顯示太平島南邊的珊瑚覆蓋率低於北邊，組成也多以團塊或表覆型珊瑚為主，這種現象可能與太平島海域在夏、秋兩季受強勁西南季風所引起的湧浪有關。另外 2009 年南邊的草皮狀海藻覆蓋率高(69.6%)，在報告中提到島南方的測站有許多區域具碎珊瑚骨骸堆積，推測此地點珊瑚礁早期可能出現大規模珊瑚死亡，因此在缺乏競爭(珊瑚與大型藻類)的情況下草皮狀海藻能大量增生。

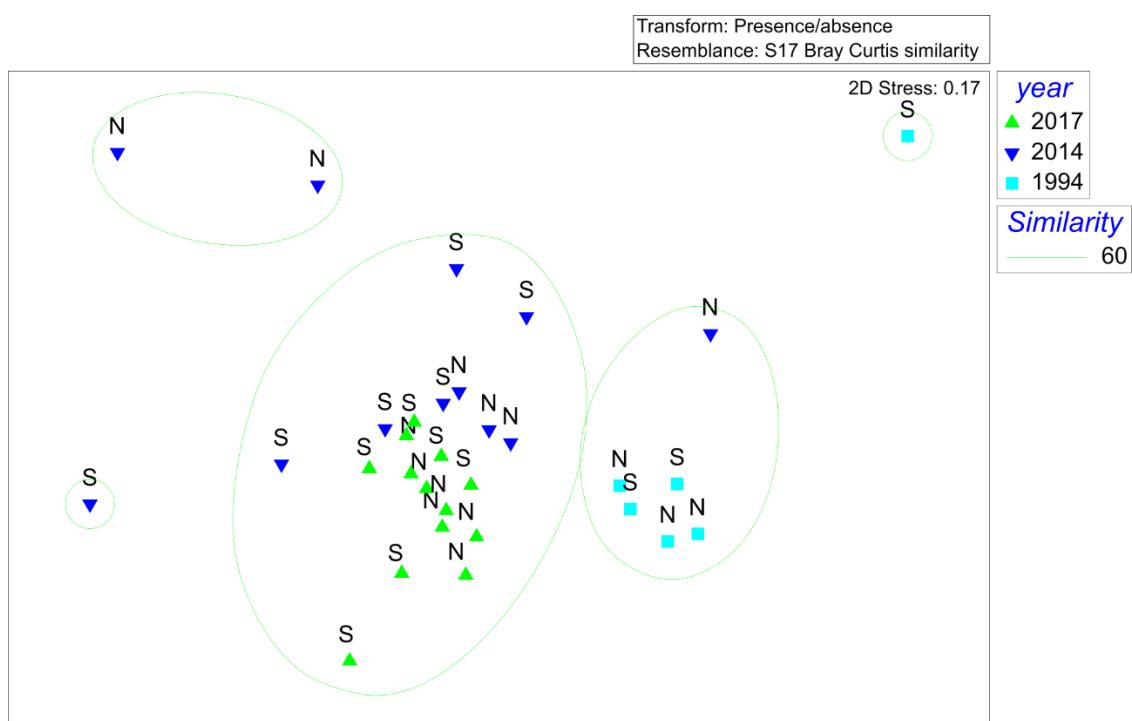


資料來源：邵等 2009、2014、鄭等 2017

圖 1、近年太平島北側與南側在 5m 與 10m 處的底棲類型覆蓋率變化

N：北側；S：南側

太平島周邊的石珊瑚群聚組成隨著時間呈現不同變化（圖 2）。1994 年調查顯示島嶼南北側石珊瑚組成非常類似，但到 2014 年南北兩側測站差異性增加，且和 1994 年的群聚組成也有相當的不同，但和 2017 年的組成又有超過 60% 的相似度。太平島南北兩側珊瑚種類組成在 1994 和 2017 年皆趨於相似，全島周遭的石珊瑚群聚在多樣性組成分析上相似度高；在 2014 年時島的南北側部分測站珊瑚組成差異大，推測可能原因為 2006-07 年時島上進行機場跑道擴建工程，以及 2014 年開始進行的西南碼頭新建工程等大型的人為擾動，使得 2014 年太平島南北兩側石珊瑚組成差異大的現象。各式的環境擾動造成石珊瑚組成變化從 1994 年開始呈現發散後收合的趨勢，雖然 2017 年的結果南北測站的群聚又趨近相似，但其覆蓋率與種類組成已和 1994 年時的珊瑚群聚組成不盡相同。



資料來源：戴與樊，1994、邵等，2014、鄭等，2017

圖 2、1994、2014 和 2017 年石珊瑚屬多樣性組成分析

N：島嶼北側；S：島嶼南側

第三章

太平島周邊海域之珊瑚礁棲地群聚調查與分析結果

第一節 研究方法

太平島周遭海底地形簡述

太平島的四周海岸地形是為典型的熱帶珊瑚礁地形，高潮線均為沙灘，以下為平坦且水淺的潮間帶區(圖 3)，近岸地貌為海草砂地；遠岸則為珊瑚礁岩。島東西兩側潮間帶區最寬，可達 400—500 公尺；其次為島北側，寬度約 300—350 公尺；島南側的寬度較窄，約 150—200 公尺。潮間帶區由岸際向外海方向逐漸由珊瑚砂帶、礁石帶、礁岩平台帶，最後到礁盤邊緣並垂直下降。珊瑚砂底質佈滿短小的海草(圖 4)，其間零星散布小塊珊瑚礁石。礁石帶的底質為礁岩，海草在此區只有局部零星分布(圖 5)，另外交雜著珊瑚區塊與粗砂，散布著石珊瑚、海葵等生物。礁岩平台帶為平坦裸露的珊瑚礁岩，礁岩表面的固著性生物較少(圖 6)。離岸最遠的珊瑚礁盤邊緣為略微平緩隆起的珊瑚礁平台，其間交替分布著垂直岸際走向的潮溝和礁脊，水深約 1—3 公尺，寬度約 15—50 公尺(圖 7)。此區開始出現豐富的石珊瑚群聚，珊瑚群聚越向外海方向越豐富多樣，但主要還是集中於 3-5 米以淺的水域，5 米以下石珊瑚覆蓋率數量和種類都不高，底質以死珊瑚骨骼與碎砂石塊為主一直延伸到深處的礁斜坡。

潮間帶區向外的亞潮帶地形在太平島的四方位面有明顯差異，其中在島的東、北、西等三面較為相似，大致為和緩漸深的珊瑚斜坡(slope)，斜坡底質為裸露的珊瑚礁岩，礁脊、潮溝邊與礁平台密佈多種石珊瑚及零星軟珊瑚，層層疊疊；珊瑚斜坡外側邊緣轉為陡峭的斷崖地形(drop-off)，斜度接近垂直(圖 8)，寬約 5—10 公尺。斷崖頂部水深約 6—12 公尺，底部約 35—45 公尺，若為大潮溝出口則因底質堆積而使斷崖底部深度較淺，約 25—35 公尺。斷崖峭壁轉角仍可見石珊瑚的群聚，但越往深處，軟珊瑚及其他固著性生物的比例會漸增，水深 15—25 公尺以下，石珊瑚相當罕見。在水深 25 公尺深為峭壁一直到峭壁底部，偶見軟珊瑚或小個體的團塊形石珊瑚(圖 9)。最後，斷崖底部

以外為大型礁岩及砂底交雜的斜坡地形，一直向外延伸。

太平島南側亞潮帶同樣為珊瑚礁斜坡，水深由 2 公尺漸深到 12—20 公尺，寬度約 40—60 公尺不等，礁斜坡可以依斜度再細分為陡坡帶及緩坡帶，越靠近東側緩坡帶越寬，礁沙交界區也越深。斜坡底質同樣為裸露的珊瑚礁岩，緩坡帶上具珊瑚礁岩外，間雜塊狀分布的砂底，珊瑚生長較分散(圖 10)；陡坡帶上有較密集生長的石珊瑚和零星分布的軟珊瑚(圖 11)。但不同於其他測站其斜坡以外為斷崖峭壁，南面測站的沙地上有大小不等的獨立礁岩，以外為平坦開闊且持續向外延伸的沙地(圖 12)，約略形成與海岸方向平行的帶狀分布。沙地上的生物相對較稀少，僅在礁岩周邊有較多生物(圖 13)，另外在淺礁區處可見纏繞在珊瑚礁岩上的廢棄漁網(圖 14)。



圖 3、太平島的四周海岸高潮線均為沙灘。此為太平島北岸中央的沙灘。



圖 4、潮間帶最近岸的底質主要為珊瑚砂，長滿短小的海草，其間零星散布小塊珊瑚礁石。



圖 5、潮間帶區的礁石帶，海草在此區呈現局部零星分布。



圖 6、潮間帶區的礁岩平台帶（左側）到珊瑚邊緣帶（右側）。後者則開始有豐富的珊瑚群聚，兩者分際明顯。



圖 7、珊瑚礁盤邊緣交替分布著垂直岸際走向的潮溝和礁脊。



圖 8、斜坡外側邊緣轉為陡峭的斷崖地形，斜度接近垂直



圖 9、珊瑚礁坡峭壁至底部



圖 10、測站位於珊瑚斜坡之緩坡帶



圖 11、珊瑚斜坡中的珊瑚陡坡，珊瑚群聚明顯較緩坡豐富多樣。



圖 12、峭壁底部有大小不等的獨立礁岩，以外為平坦開闊且持續向外延伸的沙地。



圖 13、在珊瑚斜坡以外為緩斜的沙地，偶見礁岩零星散布，其上常有豐富魚類。



圖 14、太平島南側淺礁區處的廢棄漁網。

野外調查

前期人員已於 2019 年 4 月中旬到 5 月中旬時先行上島，完成先期觀測與前置作業與環境調查(表 1，圖 15)，其範圍為太平島西北到東北海域，長度約 1000 公尺；東南到西南海域，長度約 1100 公尺；太平島南側暗礁，長度約 200 公尺。合計調查長度共約 2400 公尺。經普查後尋回 2017 年所建立的西北 1 號測站、東北 2 號測站、東南 4 號測站與西南 5 號測站，並拍攝生態影片；而主要研究團隊由於氣候因素與配合海巡船期緣故，研究人員於 2019 年 9 月 7 日由前鎮碼頭搭乘和星艦前往南沙太平島，於 11 日到達太平島，接著在 11-14 日進行 4 日的採樣調查，並於 2019 年 9 月 19 日返回前鎮碼頭。由於九月太平島仍受強烈西南氣流影響，因此只能在海況許可的情況下進行水下作業，再加上登島時間有限，因此本次水下作業時間只有兩天半，僅完成東北 2 號測站與西南 5 號測站的珊瑚礁環境調查。

表 1、太平島測站調查區域 GPS 座標

測站/方位	起點		終點	
TP 01 /西北	10°22.900'N	114°21.734'E	10°22.914'N	114°21.757'E
TP 02 /東北	10°22.969'N	114°22.029'E	10°22.986'N	114°22.050'E
TP 03 /東	10°22.821'N	114°22.536'E	10°22.848'N	114°22.534'E
TP 04 /東南	10°22.559'N	114°22.292'E	10°22.573'N	114°22.315'E
TP 05 /西南	10°22.397'N	114°22.062'E	10°22.416'N	114°22.082'E
TP 06 /西	10°22.459'N	114°21.249'E	10°22.480'N	114°21.231'E

資料來源：鄭等，2017



圖 15、太平島樣點位置圖（衛星影像資料於 2018 年 12 月 8 日拍攝）

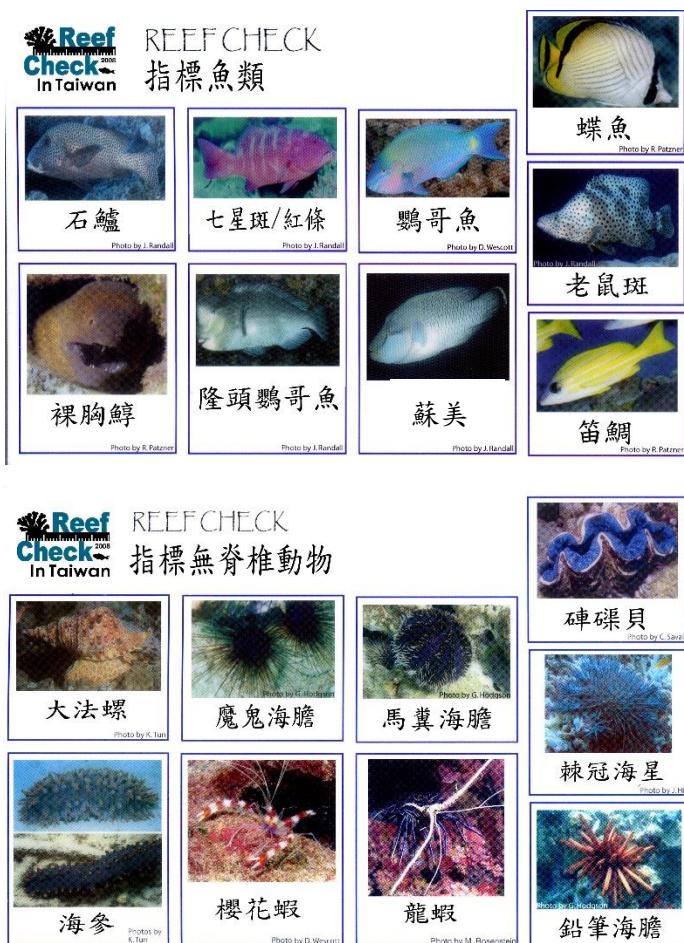
TP01 NW 西北 1 號測站、TP02 NE 東北 2 號測站、TP03 E 東 3 號測站、

TP04 SE 東南 4 號測站、TP05 SW 西南 5 號測站、TP06 W 西 6 號測站；

黃色線為前期勘查範圍

野外資料收集

調查時參考邵等(2009, 2014)及 English et al. (1997)等調查熱帶珊瑚礁底棲群聚方法來進行。也就是使用穿越線樣框拍照取樣法(Photoquad)，以 25*25 公分之樣框沿 3 條 30 公尺穿越線連續拍照記錄每個樣框下的底質樣點數和計算其覆蓋率，同時記錄線上左右各 25 公分內所有小珊瑚(<5 公分直徑)的種類、大小與數量，以了解各測站小珊瑚入添情況，作為珊瑚礁未來發展的潛勢指標。魚類與底棲生物使用珊瑚礁體檢(Reef Check)的方式來進行調查(圖 16)，並同時記錄樣區中的人為污染與破壞程度，如泥沙沉積物、廢棄的漁網和魚線、纜繩、船錨、垃圾、炸魚所造成的物理性破壞，以及珊瑚白化、疾病，與其他不尋常的狀況。



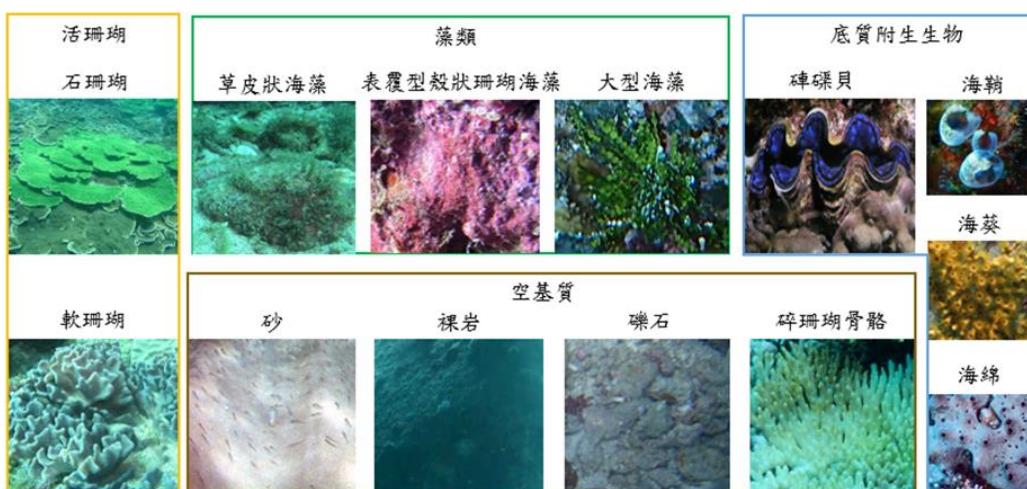
資料來源：珊瑚礁體檢手冊

圖 16、珊瑚礁體檢指標性生物

上：魚類；下：無脊椎。

資料分析

每條穿越線會得到 120 個 25 x 25 公分樣框的影像，所拍攝的每張影像，使用 CoralNet(Beijbom et al., 2012)來進行分析，每張影像的樣框內撒下 30 個隨機點並辨識其下的底質種類，接著計數各樣框內底質大類數量來進一步計算其覆蓋率。我們將底質分類成石珊瑚、軟珊瑚、大型藻類 (macro algae)、草皮狀海藻 (turf algae)、表覆型殼狀珊瑚藻 (crustose coralline algae)、空基質 (包含裸岩與礫石、砂、碎珊瑚骨骼) 與其他 (包含海綿及其他底質附生生物) 等七大類 (圖 17)，另將石珊瑚分為軸孔與非軸孔珊瑚，再依其生長形態將非軸孔珊瑚分為枝狀、平鋪狀、葉狀、團塊狀，以及非造礁珊瑚的藍珊瑚、火珊瑚、蕈珊瑚、笙珊瑚等，以作為珊瑚功能群分析之用。接著使用統計軟體 PRIMER 6.0 (Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK) 進行多變量分析，使用 Bray-Curtis similarity index 相似度指數，繪出多元尺度分析圖 (nMDS, Nonmetric multidimensional scaling)，搭配 ANOSIM (Analysis of Similarity) 比較各地點珊瑚形態群聚相似性。



資料來源：陳等，2018

圖 17、底質分類示意圖

CoralNet 是一個使用深度神經網路模型的線上資料庫，可以供使用者上傳底質照片並訂定辨識規則，資料庫的機器人程式會根據規則來定義不同的底質。在經由人工校正結果後，機器人會再根據新的校正結果重新進行辨認。透過樣本與校正，來訓練機器辨識出運作的模式，也就是機器學習。CoralNet 能夠藉由設定不同比例的信賴區間，來進行由人工確認機器辨認結果的半自動，或全由程式辨認並確認的全自動辨識(Beijbom et al., 2012)(圖 18、19)。

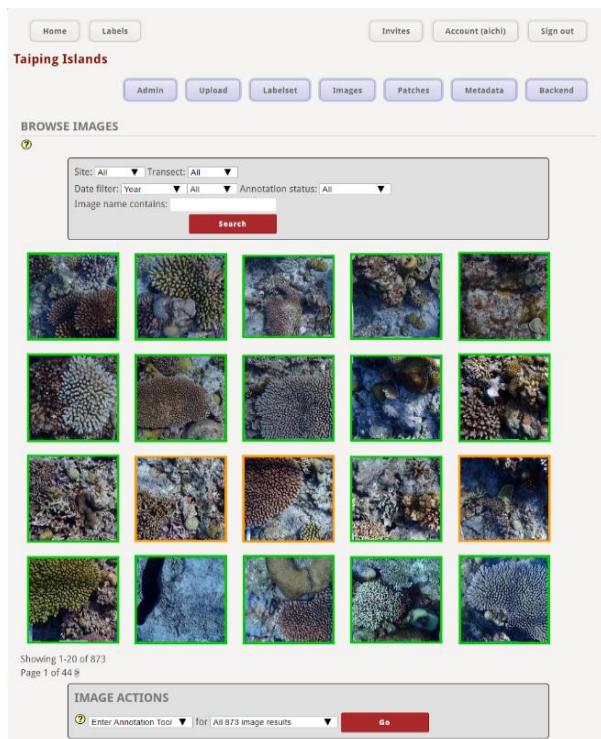


圖 18、CoralNet 的圖片資料庫

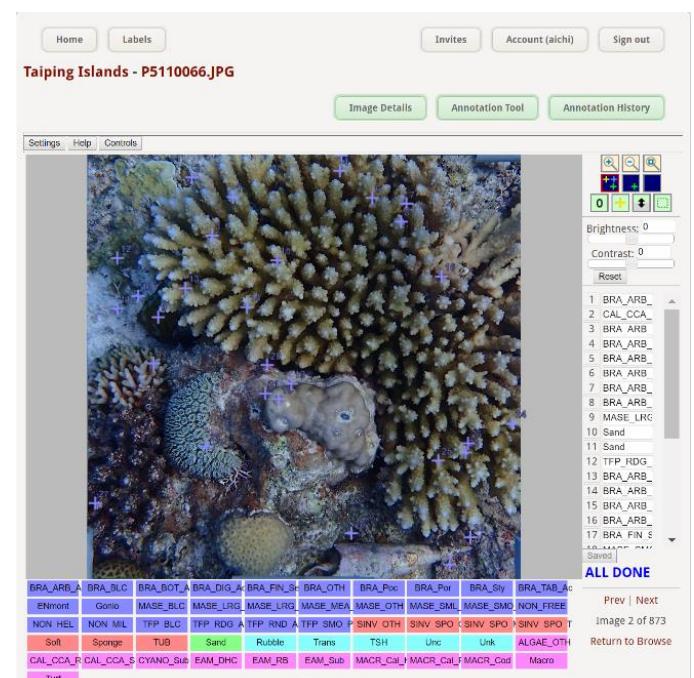


圖 19、CoralNet 的操作主介面

CoralNet 基本的操作和 CPCe 無異，唯一的差別只在於前者可線上操作，後者則為單機執行。本次在分析底質結果所花費的時間上，扣除前面訓練程式的时间，和同樣使用 CPCe 相較起來約減少 25%。機器學習的另外一個益處，是辨識的準確率會隨著使用者訓練的次數而增加，如此一來所需要花費的人工成本(時間、人力)降低，能夠對提升計畫執行的效率有所幫助(圖 20、21)。

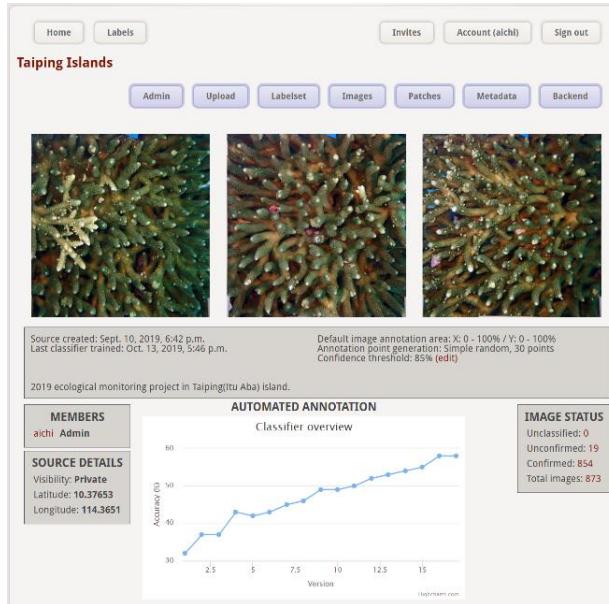


圖 20、CoralNet 中的專案主頁面

圖 21、不同底質類別的辨識率矩陣

第二節 生態調查與資料分析

本年度現生珊瑚礁現況普查

珊瑚礁底質

結果顯示太平島珊瑚礁底質組成主要以珊瑚、殼狀珊瑚藻與空基質為主(表 2)，由於軟珊瑚在南北側站的比例皆低於 1%，表格中會分開列出，資料分析時則一併計入硬珊瑚計算；另外本報告之後提到"珊瑚"皆代表"硬珊瑚加上軟珊瑚"。各底質項目中，島嶼北側硬珊瑚覆蓋率($45.1\pm2.7\%$)高於南側($33.54\pm5.7\%$)，根據國際通則(Gomez and Yap, 1988)皆屬於尚可(25-50%)等級。大型藻類覆蓋率南側($5.16\pm2.1\%$)高於北側($3.49\pm1.5\%$)，草皮狀海藻覆蓋率南側($7.10\pm0.8\%$)高於北側($5.33\pm0.9\%$)。南北側站皆可以觀察到部分礫石和岩石基質已被殼狀珊瑚藻膠結在一起，並有小珊瑚、草皮狀海藻或其他軟體動物附生於其上。

太平島南北側石珊瑚生長形的組成差異中，北側站以表覆形和團塊形為優勢，而南測站則以分枝形與團塊形為主(圖 22)。這樣的差異反應不同程度的自然擾動對珊瑚礁群聚所造成的影响；以石珊瑚生長形態來進行測站間組成之相似度分析，結果顯示島北與南側珊瑚礁形態在空間組成上具異質性，且在 ANOSIM 統計分析上亦呈現顯著的差異 ($R=0.33$, $P<0.05$)。

小珊瑚入添量代表該地珊瑚礁未來發展的潛能，為進行珊瑚礁生態調查時重要的指標之一。本次太平島調查的兩個測站共記錄到共 21 屬，290 顆小珊瑚；入添密度以島的西南 (3.58 顆/平方公尺) 高於東北側 (2.87 顆/平方公尺)。若與其他南海系統之地區比較，太平島無論南北側平均入添量皆高於墾丁 (1.26 顆/平方公尺，陳 2016a) 與東沙環礁國家公園 (2.02 顆/平方公尺，陳 2016b)，屬的數量則介於墾丁與東沙環礁之間(圖 23)。

指標性魚類和無脊椎生物

本年度的調查使用珊瑚礁體檢(Reef Check)的方式來進行指標性魚類與無脊椎生物的調查，並記錄樣區中的人為污染和破壞。指標性魚類在北邊記錄到五種共 16 隻，以蝶魚出現的頻率最高(12.2 隻/百公尺)；南邊記錄到四種共 22 隻，同樣以蝶魚出現頻率最高(13.3 隻/百公尺)，另外在南邊記錄的鸚哥魚豐度(6.7 隻/百公尺)高於北邊(1.1 隻/百公尺)(圖 24)；無脊椎指標性生物只記錄到碑碟貝，另外在南邊測站記錄到一隻方形參。碑碟貝的數量在南北測站分布的密度(北與南：11 隻/百公尺)與大小級數相近，最常記錄到的大小落在 10-30 公分間，大於 40 公分的個體在南側或北側的穿越線上都沒有發現(圖 25)。調查中無記錄到大規模的人為破壞，僅在南邊測站有發現廢棄魚網纏繞於礁岩上。

星野黑皮海綿

先期團隊於四五月登島進行初步調查時，發現島北側的黑皮海綿不但覆蓋率超過石珊瑚面積的 30%，且在深達 14 公尺的珊瑚緩坡上也有發現其蹤跡。南北測站上出現的黑皮海綿覆蓋率不高，平均而言島的北側($2.35 \pm 1.78\%$)高於南側($0.009 \pm 0.02\%$)，符合歷史紀錄與先期團隊的觀察結果(圖 26)。

另外，中山大學的宋克義團隊於五月份的航次中在中洲礁觀測到為數不少的鳳頭燕鷗於礁岩上進行築巢產卵(圖 27、28)。之前的調查報告中也同樣記錄到大鳳頭燕鷗與蒼燕鷗於中洲礁上孵蛋繁殖(邵等 2009)，顯示中洲礁為鳳頭燕鷗與蒼燕鷗遷徙過程中的繁殖棲地。

表 2、太平島各測站七大底質類型覆蓋率(%)

底質大類/位置	測站編號	
	TP02	TP05
北	南	
硬珊瑚	45.10	33.54
軟珊瑚	0.80	0.11
大型藻類	3.49	5.16
草皮狀海藻	5.34	7.10
殼狀珊瑚藻	24.18	29.28
其他	4.21	0.48
空基質	16.88	24.33

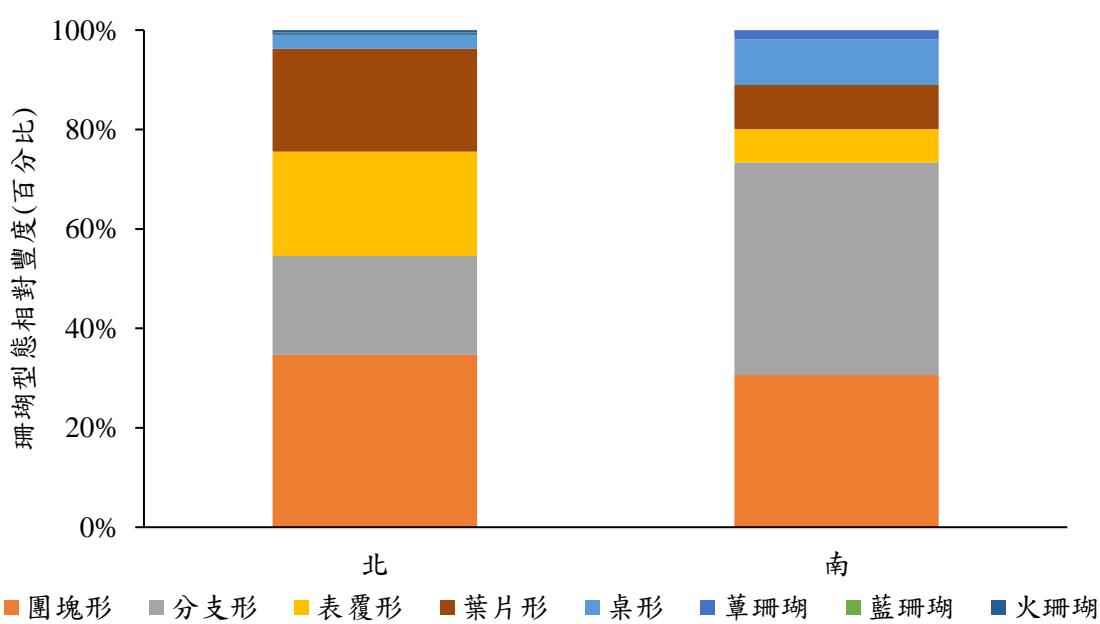


圖 22、珊瑚生長形於測站間之相對豐度

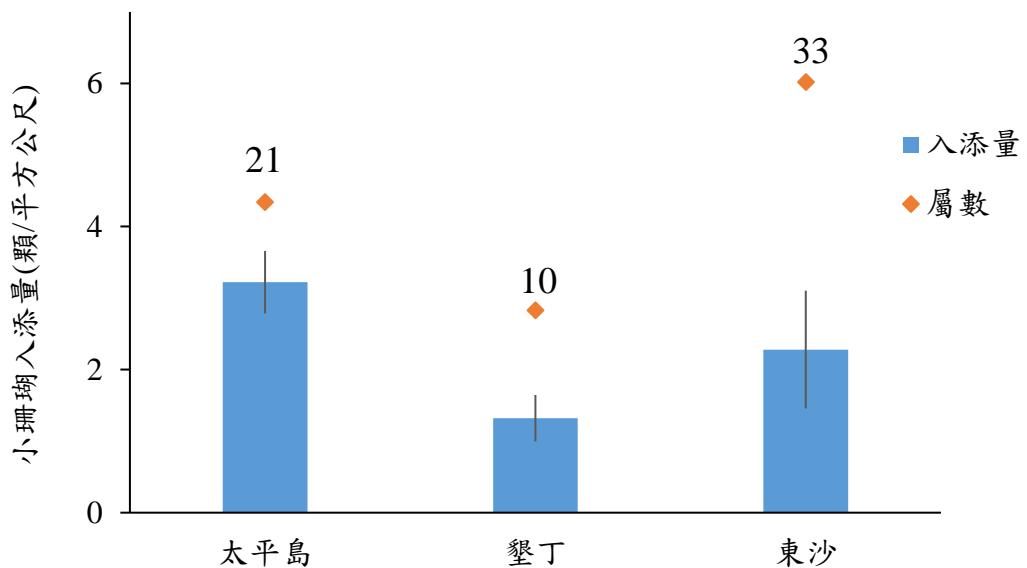


圖 23、太平島與墾丁及東沙之小珊瑚入添密度與屬多樣性比較

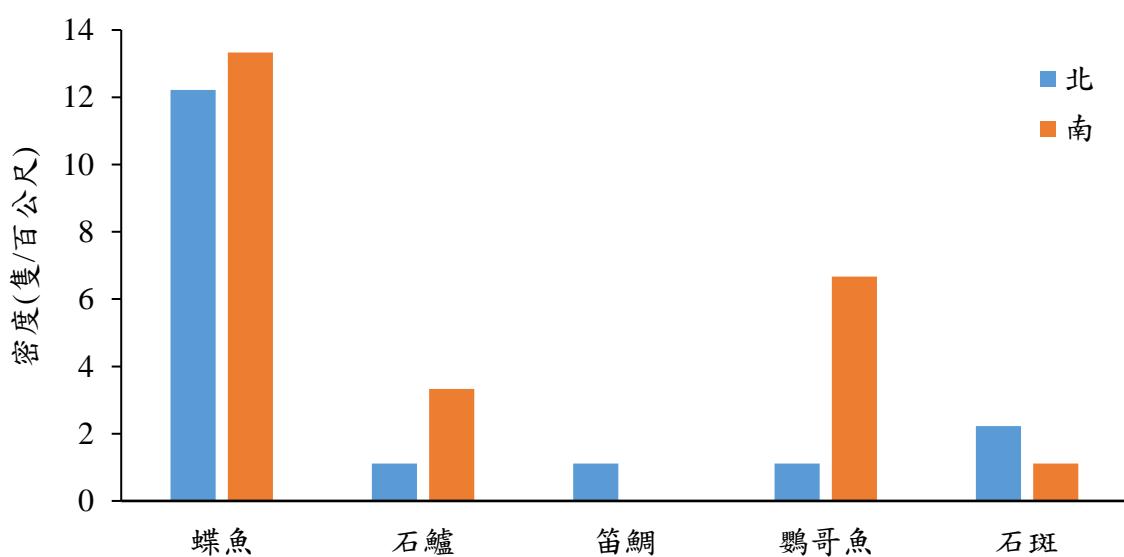


圖 24、兩測站的指標性魚類豐度

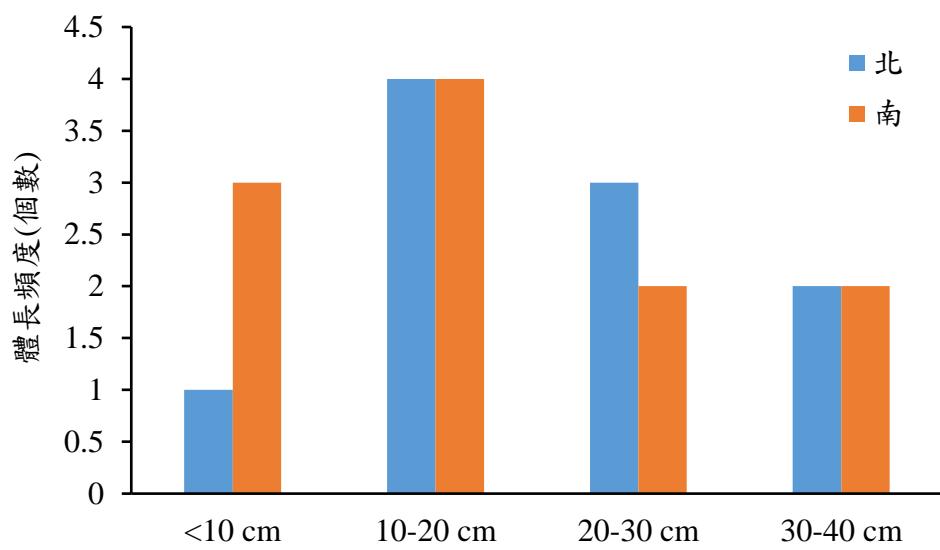


圖 25、碟貝的體長頻率

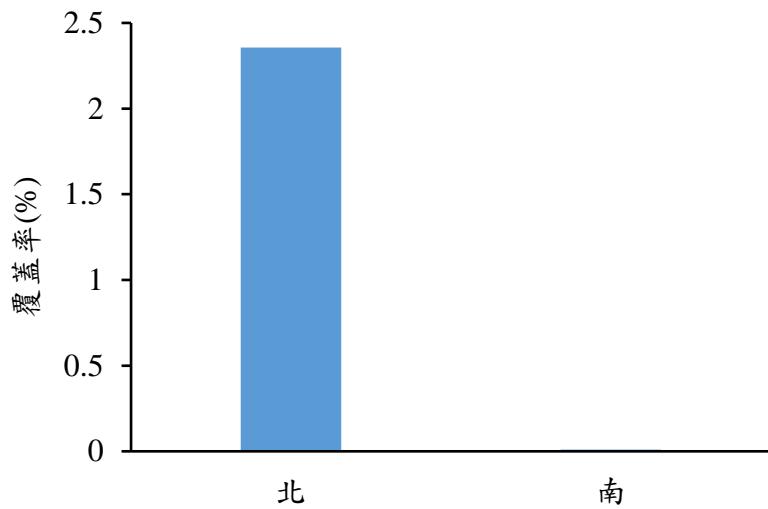


圖 26、星野黑皮海綿於不同測站的覆蓋率



(照片來源：宋克義)

圖 27、中洲礁上的鳳頭燕鷗蛋



(照片來源：宋克義)

圖 28、飛翔於空中的鳳頭燕鷗

第四章 長期監測模式檢討與建立

第一節 2017 和 2019 的結果比較

本年度的樣點與方法同 2017 年計畫所使用調查方法(鄭等, 2017)，其結果與監測方法的檢討與建議分述如下。

就底質大類的組成來看，太平島北與南側珊瑚覆蓋率皆有微幅增加，之前在 2017 時所觀察到的空底質已開始重新覆蓋殼狀珊瑚藻與珊瑚(圖 29)。小珊瑚入添量沒有顯著的成長(2017 北：4.18 顆/平方公尺，南：3.22 顆/平方公尺；2019 北：3.58 顆/平方公尺，南 2.87 顆/平方公尺)(圖 30)，島的北側數量跟屬數都下降，可能和調查的努力量及調查季節不同有關。今年只完成南北兩個測站，調查上能涵蓋的範圍少於 2017 年；2017 年的調查日期為春季，而今年上島日期為秋季，正好在颱風季節與強烈西南湧等強烈自然擾動之後，或許已經過部分刮除效應。另外 2017 年的小珊瑚高入添量或許為今年珊瑚覆蓋率略增的遠因，加上目前的空基質上有過半已覆蓋了殼狀珊瑚藻膠結成為穩定的底質，代表接下來在沒有其他大型擾動影響情況下，珊瑚覆蓋率還有繼續成長的空間。

珊瑚型態的年間組成並不全然相似(圖 31)，島北側同樣以團塊形、分支形以及表覆形為主，但南側從桌形、表覆形與分支形轉變成團塊形與分支形為主。2017 年計畫結束後到本年度調查的這段期間，中度颱風天平於 2017 年底橫掃南中國海(圖 32)，對台灣海峽、巴士海峽、南海帶來強烈風速，南沙群島局部地區有 100-150 毫米的大暴雨的紀錄(2017/12/24 國家應急廣播網綜合)，推測有可能是因為颱風所帶來的強烈擾動造成生長型態上的轉變，再次闡明這類型在大洋中間海平面低之小島及珊瑚礁地區容易受到衝擊影響的特質。

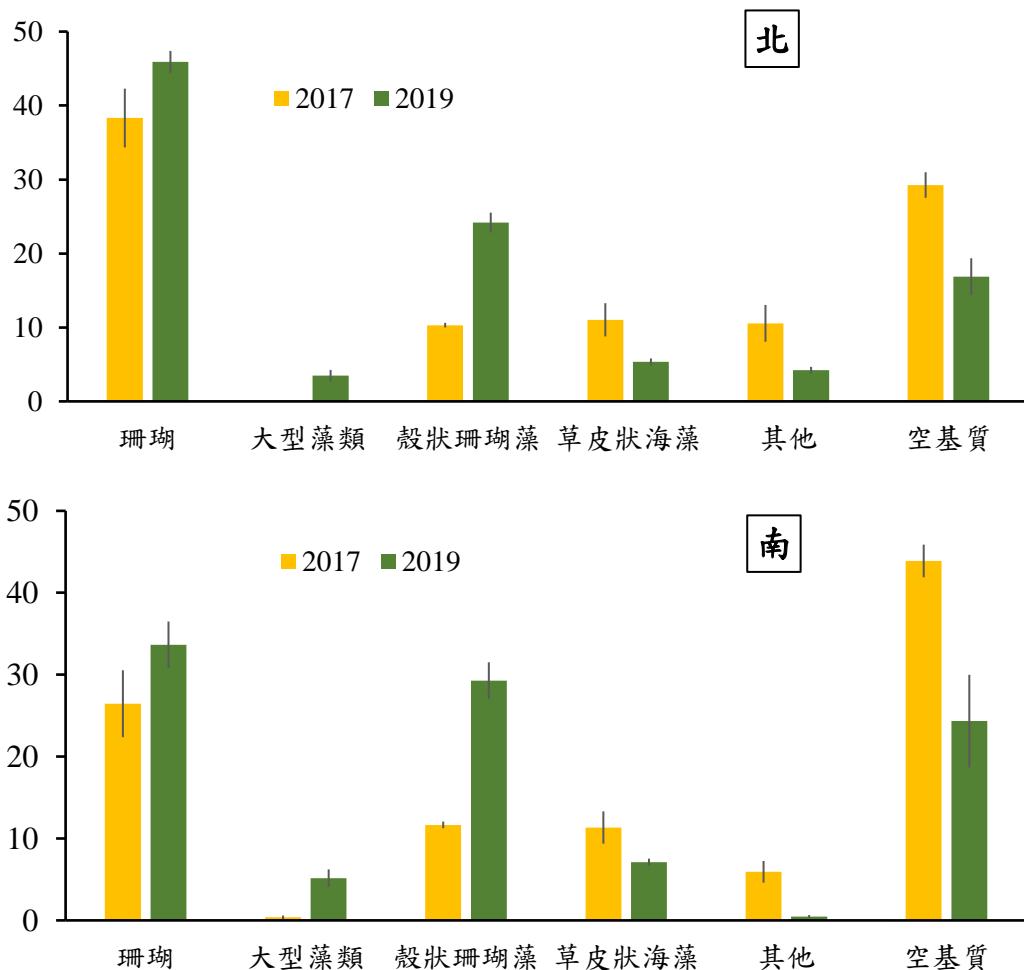


圖 29、南北測站的底質大類覆蓋率(%)

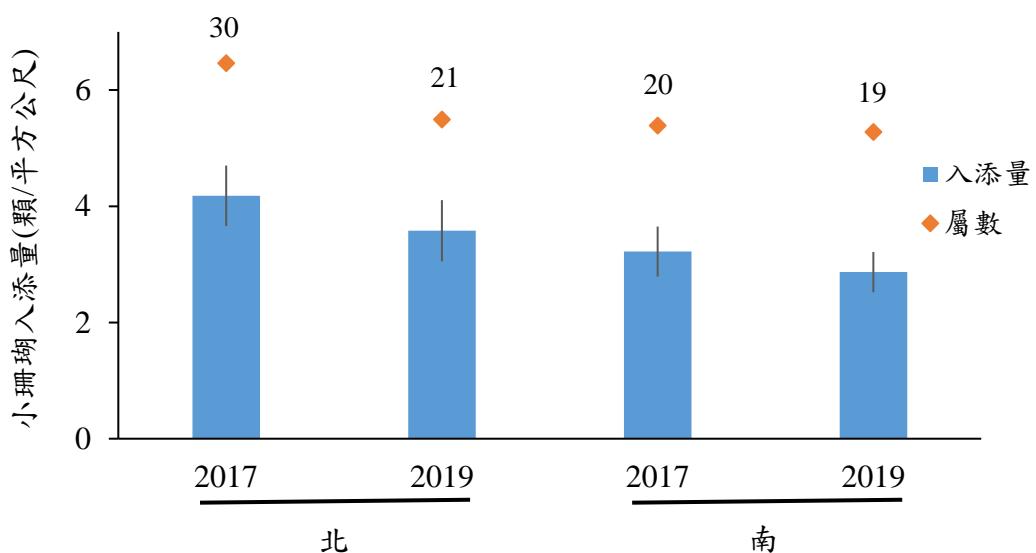


圖 30、2017 與 2019 南北測站小珊瑚入添量的比較

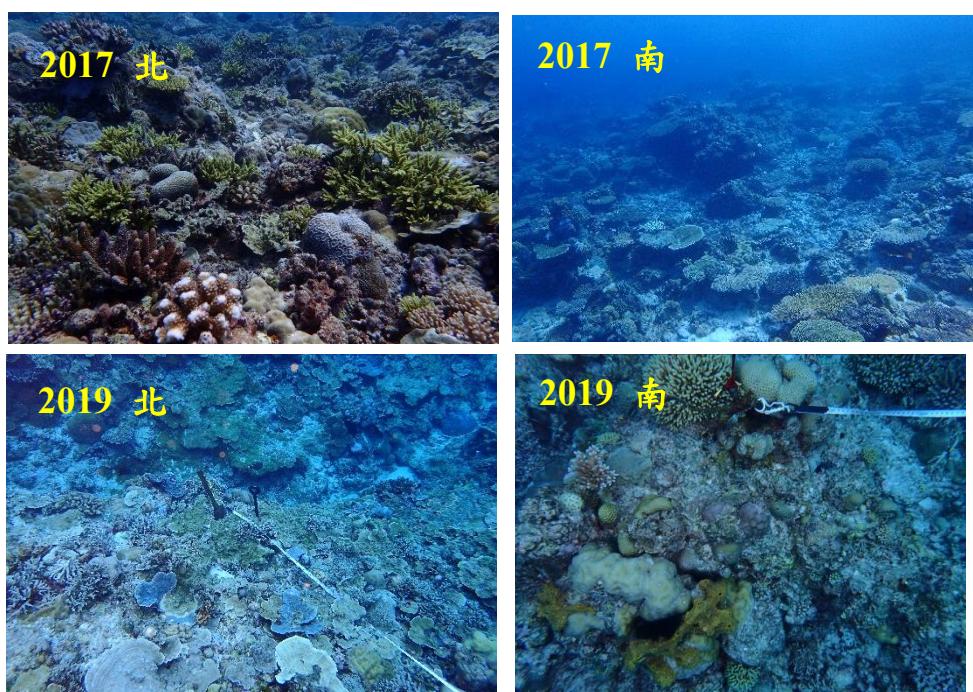
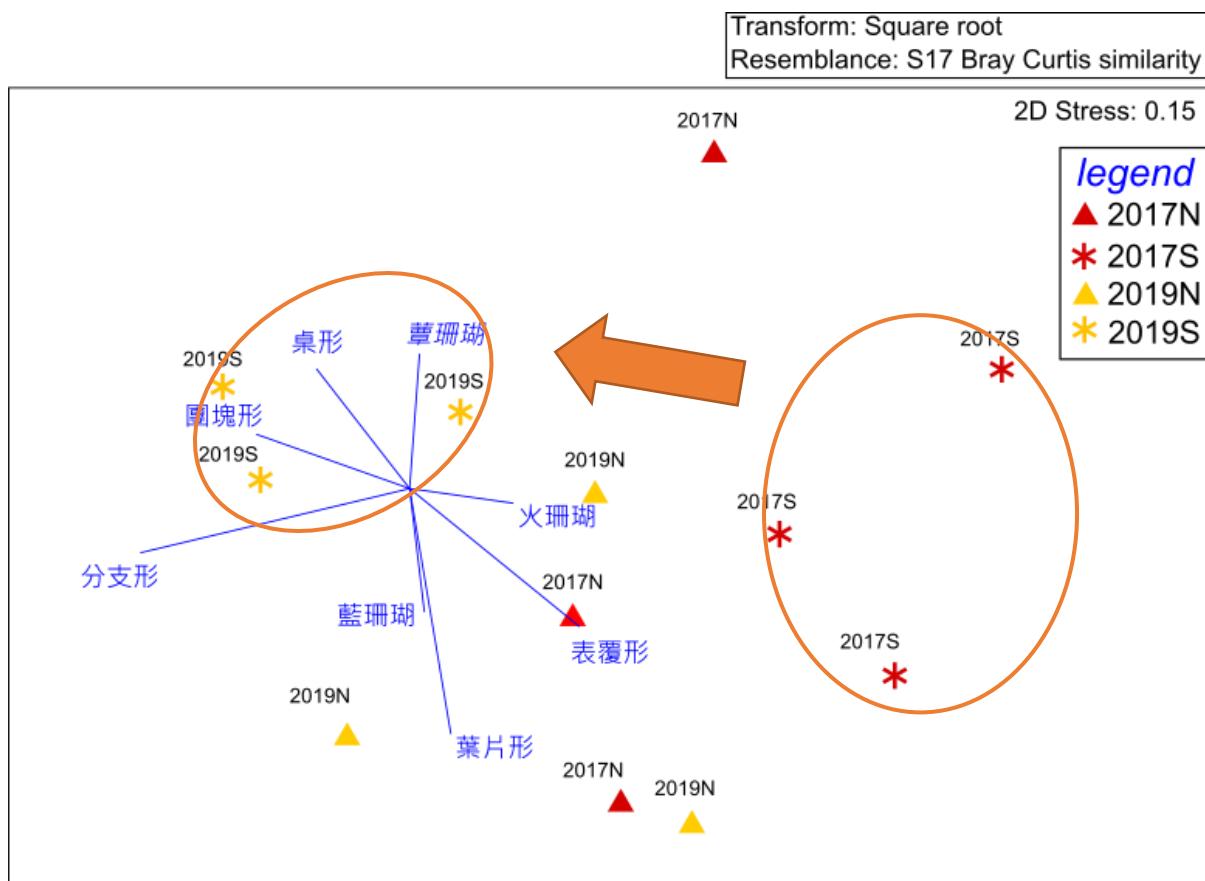
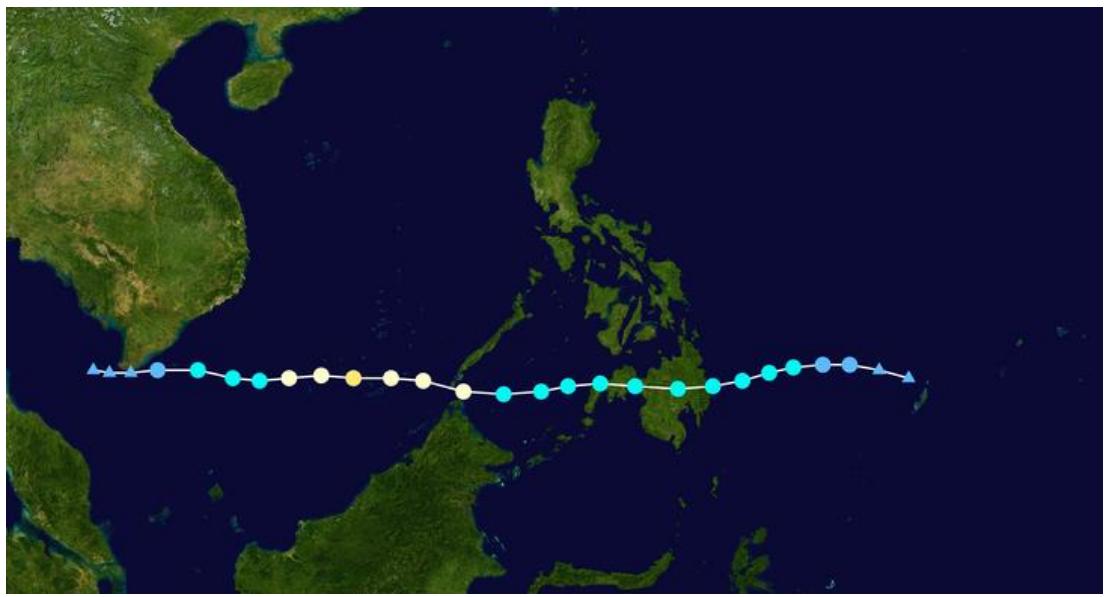


圖 31、2017 與 2019 年的石珊瑚型態群聚分析



(資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Typhoon_Tembin)

圖 32、天平颱風的路徑

第二節 建立長期監測模式

一個有效的珊瑚礁長期監測計畫，能夠提供管理者有效的基礎生態資料來制定良好的資源管理政策。首先須建立對這個樣區的基礎生物生態環境認知，並在進一步擬定長期監測目標後，決定調查方法以及對目標生物辨識的解析度。目前在國際上通用的底棲群聚取樣法包括攝影穿越線取樣法（Video Transect）、帶狀取樣法（Belt Transect）、橫截線取樣法（Line Intercept Transect, LIT, Loya, 1978）、穿越線樣點取樣法（Point Intercept Transect, PIT, Hill & Wilkinson, 2004）以及結合樣框取樣法和穿越線的穿越線樣框拍照取樣法（Photographic Transect, Photoquad）等。除了施行的方式不同外，另外要考慮的是監測範圍、可使用的資源(人力、器材)及執行人員的能力等，也就是說在制定計畫時，有相當的部分是需要因地制宜，並沒有所謂一個方法全體適用的情形。

生物辨識的解析度，就是指辨識的類別與層級，會依照計畫需求和目標以及執行人員的能力而有所不同。例如公民科學家最常執行的珊瑚礁體檢，是將底質辨識到硬珊瑚、軟珊瑚、藻類等大類。這是最粗略但是同時也是入門最簡單、訓練時間最短、最不易有爭議的鑑別解析度；最精細的鑑別解析度是將每個物種辨識到種。然而純粹藉由型態的觀察辨識到種非常困難，會產生訓練時間長及主觀判斷不同所造成的爭議。在資料處理上，越細的鑑別解析度也會提高資料的雜訊導致整體的趨勢不易呈現(Murdoch, 2007)。此外，在熱帶珊瑚礁生態系中這種生物多樣性高、個體豐度高的環境，要在有限的潛水時間內將每個生物個體鑑別到種也非常的耗時且不易施行(Kuo, 2017)。因此珊瑚礁監測調查上往往使用較粗略的鑑識解析度，例如鑑定到屬、科、甚至僅討論如硬珊瑚、軟珊瑚和藻類等大類。

綜合以上所述，雖然本計畫使用穿越線樣框拍照取樣法，但是在陳 2019 的報告中指出，在使用穿越線樣框拍照調查的情況下，後續資料分析須配合在每張底質照片上分析 100 個隨機樣點才得以達到 95% 信賴區間(陳，2019)，如此一來會大幅增加人力辨識的時間，使管理單位無法對擾動的影響做出快速的反應。因此對於建立長期環境監測模

式，我們建議使用固定樣點與橫截線調查法(LIT)，並使用 15 公尺作為穿越線的單位，在線上隨機取樣 500 點或每 3 公分記錄一次底質結構。

使用固定樣點的好處在於能夠減少變因，進而提供長期可供比較的資料。以下就建議的永久固定樣點建立方式與調查方法做進一步的敘述與討論。

野外固定樣點建立

1. 進行文獻回顧來建立樣區的背景資料，根據目的來選定樣區並選定深度(0-3 米、4-7 米、8-11 米)。
2. 設立永久穿越線，長度單位為 15 公尺。穿越線應平行或頭尾相連，盡量不跨越沙地(視礁體情況而定)，線與線的間隔大於 5 公尺。
3. 穿越線的頭、尾及中間每隔 5 到 10 公尺的定點，使用不鏽鋼營釘或角鋼在礁岩(盡量挑選岩石底質)上作標記，並在頭尾各綁上浮球作為標記。繪製水底地形圖記錄明顯標的與拍攝水下大景，並使用 GPS 紀錄座標以便日後尋回。

調查方法

1. 底質：

使用橫截線調查法紀錄穿越線上選定的距離下的底棲類別。底棲類別的解析度依監測目的與操作人員對底質的熟悉程度而定；在時間有限的情況也可以使用錄影的方式來取代水下直接紀錄，事後再進行影像辨識。調查頻率為一年一次，可視自然或人為擾動的強度來增加監測次數。

2. 魚類及底棲無脊椎生物：

同樣依監測目的與操作人員對物種的熟悉程度而定。想了解最基本的生態狀況，建議可使用珊瑚礁體檢的穿越線調查法。調查頻率視監測目的而定。

3. 小珊瑚入添：

這裡的小珊瑚定義為直徑小於 5 公分的個體，沿著穿越線的左右延伸 25 公分的帶狀範圍內來對其種類與數量進行記錄。調查時間和頻率和底質調查相同。

4. 重要環境因子(表 3)：

水溫 – 設置水下連續溫度記錄器來監測水溫。

沉積物 – 使用沈積物沈降管，放置沈降管的時間以各地環境特徵為主，沉積物多的海域需要較頻繁回收沈降管。

海水營養鹽 – 採樣頻率視監測目的與水域特性而定，每樣點採取三重複的水樣分裝在不同之保存瓶，依環保署公告之方法加以保存(NIEA 102.51C)，在規定時限之內送回實驗室，並依規定之時限內進行化學分析。

表 3、水質監測類別、檢驗項目、監測頻率及檢驗方法表

檢驗項目	監測頻率	檢驗方法
水溫	連續溫度計	NIEA W217.51A
鹽度	每季	NIEA W447.20C
pH	每季	NIEA W424.52A
溶氧	每季	APHA 421F; NIEA W421.57C
濁度	每季	U.S.EPA method 180.1;NIEA W219.52C
水中懸浮固體	每季	NIEA W210.57A
生化需氧量	每季	NIEA W510.54B
氨氮	每季	NIEA W437.51C
硝酸鹽	每季	NIEA W436.50C
亞硝酸鹽	每季	NIEA W436.50C
磷酸鹽	每季	NIEA W443.51C
矽酸鹽	每季	NIEA W450.50B；APHA 425C & 425D 第 16 版
葉綠素甲	每季	NIEA E507.02B

(資料來源：參閱環保署公告方法；陳等 2013)。

第五章 討論與建議

第一節 討論

本年度調查與資料分析結果顯示，島北側的珊瑚覆蓋率高於南側，和過去的調查結果一致。島南北的珊瑚型態組成容易呈現較大空間變化，可能和太平島周遭礁體發展型態有關。島的南面坡度比較平緩，沿岸也有沙灘分布；島的北面礁台之外的深度遽降至百餘公尺以下，形成陡直的海底懸崖。在承受不同的自然擾動如季風與颱風時，淺處的珊瑚型態會因受影響的程度而隨之改變其空間組成。小珊瑚平均入添量略低於過去調查的結果，可能是因為今年調查的測站南北側都各只有一個，努力量不同的緣故。和 2017 年相比，有超過一半的空基質上都附著了殼狀珊瑚藻，之前已有研究顯示殼狀珊瑚藻有助於吸引珊瑚幼苗著床與分化(Diaz-Pulido et al., 2010; Harrington et al., 2004; Heyward & Negri, 1999)，也就是說殼狀珊瑚藻覆蓋率越高，代表著此礁區有著良好的恢復潛力。

由於海域的連通特性，太平島的珊瑚礁同樣容易受到周遭島嶼的不當開發影響，以及受害於鄰國猖獗的過漁與不當的漁法行為。過於沉重的環境壓力容易使珊瑚礁棲地走向衰敗一途，但太平島的珊瑚礁生長狀況和 2017 年相較起來反而有小幅度的增加，由於 2017 年底的天平颱風後並無其他大規模的自然或人為擾動，顯現珊瑚礁在無外力干擾的狀況下自我恢復的潛力。

珊瑚礁體檢中所使用的指標性魚類與無脊椎生物種類，是由於其生態功能性或經濟價值而成為衡量一個地區資源消耗的基準。太平島南北測站的位置離岸邊皆僅約 2、3 百公尺的距離，但已缺乏指標性的經濟物種(石斑、龍蝦與馬糞海膽等)或稀有生物(鯊魚、隆頭鸚哥等)，再加上可觀察到的碑碟貝的數量和個體大小都偏低，顯見周遭海域過漁的影響嚴重，甚至已延伸到近岸海域。

到目前為止關於黑皮海綿爆發的假說莫衷一是，但主要被發現的地點都在海岸開發造成高濁度的地方(Reimer et al., 2011; Rutzler & Muzik, 1993)或人為活動影響處(Chen et al., 2009)。由於 2014 年的計畫中並無測量水質項目，因此無法得知海綿增生是否和此一環境因素有關，但如果以歷年太平島計畫中的水質測量結果相比較，會發現海水濁度及其他一些主要營養鹽如硝酸鹽與亞硝酸鹽等，並沒有顯著的增加(表 4)；島上的污水排放口位於西南處，和歷年觀察到黑皮海綿覆蓋率北多於南的趨勢也不一致，因此黑皮海綿大量增生和水中營養鹽的關係尚待進一步的釐清。2008 年「綠島海域汙染監測及防治與珊瑚礁群聚調查」計畫中試圖探討可能引發黑皮海棉爆發的原因，雖然無法直接將汙染和黑病做連結，但海綿的好發範圍的確和污水排放範圍頗為吻合(陳等，2008)。黑皮海綿也會受到其他因素影響其分布，如當地的珊瑚型態組成，及海流等物理環境。陳等發現黑皮海綿對硬珊瑚生長型的好發率有明顯的差異，大部分受感染的硬珊瑚以表覆形為主(陳等，2008)。本年度硬珊瑚在北側的表覆形與葉片形比例高於南邊，和黑皮海綿覆蓋率北側高於南側的結果的確相吻合，但由於太平島受強烈西南湧影響，而黑皮海綿通常覆生在淺區的珊瑚上，因此西南邊的海綿族群可能會定期性被物理性刮除，導致覆蓋率低於北邊。

表 4、1994 與 2017 於不同測站的營養鹽資料(濁度單位：NTU；營養鹽：ppm)

	1994	2017
東北		
濁度	0.78	-
銨鹽	-	0.031
Ammonia-N	0.0147	-
亞硝酸鹽	0.0028	0.003
硝酸鹽	0.097	N.D.
磷酸鹽	0.0192	0.027
西南		
濁度	0.803	-
銨鹽	-	0.036
Ammonia-N	0.0161	-
亞硝酸鹽	0.0034	0.003
硝酸鹽	0.093	0.021
磷酸鹽	0.025	0.027

第二節 建議

目前太平島的權責機關為海巡署，因此往來交通必須配合海巡署的定期巡航時間。主要研究團隊原本預定於五月上島調查，但是海巡署碧海專案 4~5 月份僅有 4 班船期，加上太平島於 5 月 21 日舉行南海人道救援演習造成了各船期間的船位排擠效應，導致本計畫的主要研究團隊無法如原訂時間上島；六月開始太平島受強烈西南湧影響無法進行全島調查，故調查團隊只能將上島時間延至九月。受到計畫期程限制，研究人員只能利用短暫的停留和不穩定的海況賽跑來完成調查，本次上島原本預定的四個工作天中只有兩天半的空檔適合下水，因此六個測站僅完成兩個，南北各一。太平島來往不易，光航行的時間上便需要各花費四天，建議之後的研究團隊如果進行海域調查，上島時間應挑選在四或五月海況較為平靜又尚未有西南湧之時；另外停留島上時間建議最少為一個月，才能在工作安排上保留彈性調整的空間。同時建議海保署協助研究人員向海巡署協調船位，協助調查的人數能夠增加，便可以在停留的時間內完成更多工作項目。

太平島的部分測站離岸有相當距離，雖然島上工作站有配備 walker bay、橡皮艇與水上摩托車，但潛水調查需要一定的人數與裝備，目前現有的水上交通工具無法承載，需要借重島上海巡或洋巡的小艇來進行水下調查工作，但是當島上駐防人員另有勤務時便無法配合調查。因此建議擴充工作站可使用的船隻數量與噸位，並開放有小艇駕駛執照的研究人員在進行報備海巡後能自行駕駛船隻；增設從研究站出入水的路徑與增加小艇停泊處，有助於研究人員使用船隻的方便性與彈性。

由於島上停留時間有限，考量到天氣與人力分配，本年度的星野黑皮海綿調查僅限於穿越線上的覆蓋率，尚不足以反映太平島周遭實際黑皮海綿分布情形。我們對於黑皮海綿的了解仍僅限於其生態與生理的部分機制，雖然到目前為止尚無法將海綿大量增生的原因和營養鹽做連結，但考量到海綿原本是反應海水營養鹽的指標生物，考量到島上現在與未來持續增加的人為活動(駐防官兵與研究人員等)，建議可以增加島上的汙水處理設施，減少生活汙水直接排放到海洋而造成海水營養鹽增加的機會。

第六章 太平島海域生態資源保育管理建議

自從本國政府於 1946 年正式於太平島上立碑宣示主權開始後，官方或民間皆進一步的增加了對於太平島探測、開採與使用周邊自然資源的頻率。雖然海洋巡防署定期派遣船艦來進行護漁、緝私以及打擊海盜等行為，有鑑於鄰國於周遭猖獗的過漁行為，太平島的海域生態仍然受到不小影響。

早在 1994 年所提出的行政院南海生態環境調查研究報告中，便已發現太平島海域水深 3 公尺以深的珊瑚群聚皆遭受破壞(戴與樊，1994)。戴 2005 在太平島西南碼頭區發現指標性魚類與無脊椎生物密度偏低，顯示受到漁業採捕或人為干擾的影響，同時也記錄到部分珊瑚礁遭受如垃圾或廢棄物等人為破壞情形；國家公園學會於 2009 與 2014 所執行的南沙太平島生物多樣性調查計畫中皆提到人為活動對島周遭海域生態的影響，譬如魚類受到國外船隻在附近炸魚、捕撈影響，已出現會怕人的行為。2017 年的調查結果顯示，雖然太平島同樣面臨嚴重過漁及人為擾動，但和其他南中國海及台灣周邊海域比較起來，太平島仍擁有最高的魚種豐富度以及獨特的魚種群聚，經濟性魚種豐度比其他海域都高或是至少相當。太平島周邊的造礁珊瑚的種數高達 306 種，佔台灣管轄的海洋國土中珊瑚種類數的 92%，超過目前已知南海珊瑚物種種數的一半 (52.53%) (鄭等，2017)，再次凸顯了擬定太平島以及周遭海域資源保育辦法的重要性。

熱帶島嶼因其面積小與和外界隔離的特點，島上與周邊的生物與生態相當容易受周遭擾動所影響，屬於敏感的生態系。因此就太平島的保育管理策略而言，短期的首要任務便是持續對太平島，甚至是南海區域進行長期的監測及充實生物多樣性資料庫，進一步降低島上與周邊的人為活動及外來物種對太平島生態造成的影響，以利未來政府規劃太平島成為國家公園或海洋保護區。以下分別就這短、中、長程目標做一敘述：

短程：充實與累積生物多樣性資料庫、有限度地開放研究或教學造訪人次

目前太平島上已由科技部委託台灣大學及中山大學共同成立簡易海洋工作站，配備有基本住宿設施與潛水相關裝備可供登島研究人員使用，進行簡單的工作如水下或陸上探勘調查等不成問題，但如果需要長期進行監測島上與周邊的生物生態環境，又或建立長期生物環境資料庫，則維護與健全太平島海洋工作站並配合長期駐島人員則勢在必行。在設施健全後，便能進一步開放接受國內外不同領域的研究學者申請登島進行研究，藉由共享研究成果來達到非軍事和諧共存的狀態；南沙群島地處偏遠，島面積小，能容許的生態乘載量有限，加上安全考量，因此目前發展生態旅遊觀光尚不可行，但可以在安全無虞之情況下，增加辦理過去政府機關與民間或學校所合作的生態保育研習營、種子教師研習營或海洋體驗營等固定限制名額的梯次，以對太平島實質上的利用來同時達到推廣海洋教育及保育，增進國民認知，以及宣示主權的目的。

中程：降低人為環境衝擊

過漁

雖然台灣漁船在太平島附近作業者稀少，但南海水域長期一直難以畫分主權。我國已在太平島公佈限制、禁止水域，但越南、大陸及菲律賓等國漁船越界頻傳，甚至以炸魚、毒魚等方式作業，對生態環境破壞甚鉅(張銘祥，2004)。2009 年 1 月至 6 月期間，驅離越界進入太平島限制及禁止水域之外籍作業漁船已達 5 百艘(蘋果日報，2009)。Pauly & Liang 統計自 1950 年代開始到 2014 的南海海域漁業資源變化，發現不但漁船普遍使用圍網與拖網，整體的漁獲量更有 fishing down 的趨勢，也就是現在所捕撈到的魚多屬在食物鏈位階下層的魚種，而體長也變小 (Pauly & Liang, 2019)。目前海上執法部分尚得仰賴海巡署來加強驅離越界漁船的強度，但目前島上巡防船舶其巡護範圍小，船體也較漁船小，無法有效達到嚇阻功能，極需提升巡防能力加以因應。

過度開發

為了宣示主權，各國在南海競逐發展，填海造陸、興建機場跑道或港口等工程，或是進行非生物資源(油、氣田)開發等，都可能產生大量沉積物影響底棲生物群聚的多樣性(Erfemeijer et al., 2012)，或是改變礁體形狀進而改變生態環境，使部分珊瑚礁棲地衰退或喪失(Jones et al., 2016; Pollock et al., 2014)。

長程：劃設海洋保護區、國家公園或海洋和平公園

1994 年的行政院南海政策綱要中提到，南沙群島如何保育與管理，前提是我們如何「定位」南沙群島。從軍事或經濟的角度來看，種種諸如建機場或增添駐防設備等積極的作為是可以理解的要務；但就如長期鑽研南海事務的 John McManus 一直以來所倡議的，與其維持這種各國主權緊張的局勢，不如將眼光轉為非軍事或觀光遊憩的方向。將南海區域發展海洋保護區或海洋和平公園，既可達到保育南太平洋重要的種原庫，又能化解國際間政治劍拔弩張的氣氛，同時為周遭各國帶來經濟上的收益。劃設海洋保護區、國家公園或海洋和平公園各有其行政與國際情勢上施行的困難度，但是 2007 年高雄市政府海洋局依漁業法第 45 條規定，公告劃設太平島海龜繁殖保護區，範圍以太平島為中心，陸域產卵棲地從沙灘至樹林外側，海域重要棲息環境自潮間帶和低潮線向海至 12 海浬處。因此，建議相關權責單位能夠比照目前已劃設的海龜保護區方式，畫設「野生動物重要棲息地」並將其範圍擴大至太平島與中州礁的陸域以及周邊珊瑚礁海域；又或者是依漁業法來劃設「禁漁區」，再配合有真正管理及執法取締的單位如海巡署來執行。這樣在累積了生物生態基礎資料，並配合訂定適當法規與分配權責與執法單位後，便可逐步朝向海洋國家公園的方向來規畫。

第七章 參考文獻

吳全橙。1981。南沙太平島海洋環境與生物資源調查研究(一)。行政院農業委員會水產試驗所研究報告 (33) 195-229 頁。

吳全橙、戚桐欣、謝日豐。1981。南沙群島漁業生物資源調查與研究。行政院農業委員會水產試驗所研究報告 (1)1-37。

宮守業。2016。太平島是礁還是島？。科博館訊 342。國立自然科學博物館。

陳昭倫、孟培傑、李宏仁、湯森林、陳文明、王志騰、宋克義。2008。綠島海域污染監測及防治與珊瑚礁群聚結構調查。海洋國家公園管理處委託報告。

陳昭倫、孟培傑、邱郁文。2013。墾丁國家公園海域珊瑚礁底棲群聚、水質與貝類資源量現況調查。墾丁國家公園管理處委託調查報告。

陳昭倫。2015a。墾丁國家公園草食性魚類之永續利用及其對珊瑚礁底棲群聚結構之影響調查。墾丁國家公園管理處委託調查報告。

陳昭倫。2015b。珊瑚健康指標之建立與保護區管理應用：以墾丁國家公園珊瑚礁生態系為例。墾丁國家公園管理處委託調查報告。

陳昭倫。2016a。墾丁國家公園珊瑚礁生態多樣性監測調查計畫。墾丁國家公園管理處委託調查報告。

陳昭倫。2016b。氣候變遷下東沙環礁生態彈性的空間異質的形式與機制研究—東沙內環礁珊瑚礁群聚空間異質形式與形成機制探討(I)。科技部。

陳昭倫。2018a。墾丁國家公園珊瑚礁生態多樣性監測調查計畫。墾丁國家公園管理處委託調查報告。

陳昭倫。2018b。氣候變遷下東沙環礁生態彈性的空間異質的形式與機制研究-東沙內環礁

珊瑚礁群聚空間異質形式與形成機制探討(III)。科技部。70 頁

陳昭倫。2019。108 年度珊瑚礁生態系調查計畫。海洋委員會海洋保育署委託調查報告。

邵廣昭。2019。臺灣魚類資料庫。網路電子版。<http://fishdb.sinica.edu.tw>

邵廣昭、宋燕輝、林正義、林幸助、張學文、程一駿、劉小如、劉文宏、歐陽承新、樊同雲、謝長富、宮守業。2009。南沙太平島國家公園可行性評估。內政部營建署。

邵廣昭、彭鏡毅、張學文、許育誠、林幸助、羅文增、張桂祥、樊同雲、陳天任、邱郁文、宋克義、程一駿。2014。南沙太平島生物多樣性之調查計畫。內政部營建署。

張崑雄、詹榮桂、花長生。1982。南沙海底魚蹤。百科文化事業股份有限公司出版，125 頁。

張萬福、陳加盛、鄧伯齡、楊吉壽。1994。南沙太平島與東沙島鳥類資源調查。方力行、李健全(編輯)，行政院南海政策綱領南海生態環境調查研究報告書。國立海洋生物博物館籌備處。

張銘祥。2004。南海執法-驅離越界漁船。海巡雙月刊，行政院海岸巡防署(12)，34-37 頁。

趙煥庭。1996。南沙群島自然地理。Phyiscal Geography of Nansha Islands。科學出版社，402 頁。

劉振鄉。1975。南沙群島太平島之魚貝類調查報告。中國水產第二九三期。19-21 頁。

鄭明修、陳昭倫、湯森林、溫國彰、劉少倫、劉弼仁、李俊鴻、陳韻如、柯佳吟。2017。南沙群島海域水產動植物資源調查及生態系統服務評估。行政院農業委員會。

戴昌鳳、洪聖雯。2009。台灣珊瑚圖鑑。貓頭鷹出版社。第 24 頁。

戴昌鳳、樊同雲。1994。太平島海域珊瑚相。方力行、李健全(編輯)，行政院南海政策綱領南海生態環境調查研究報告書。國立海洋生物博物館籌備處。

戴昌鳳。2016。「南沙太平島交通基礎整建工程」環境生態調查及評估總報告書。行政院海岸巡防署

颱風藍色預警：天秤達颱風級 將穿過南沙群島附近海域。國家應急廣播網綜合(Dec. 24, 2017)。檢自 <http://www.cneb.gov.cn/2017/12/24/ARTI1514073129932129.shtml> (Oct. 25, 2019)

連環船犯南沙 5 個月驅 500 艘，蘋果日報(Jun.13, 2009)。

檢自 <https://tw.appledaily.com/headline/daily/20090613/31706001/> (Oct. 31, 2019)

Ablan, M.C.A., McManus, J.W., Chen, C.A., Shao, K.T., Bell, J., Cabanban, A.S., Tuan, V.S., Arthana, I.W., 2002. Meso-scale transboundary units for the management of coral reefs in the South China Sea area. NAGA, WorldFish Center Quarterly 25, 4–9.

Baird, A.H., Pratchett, M.S., Hoey, A.S., Herdiana, Y., Campbell, S.J., 2013. Acanthaster plancis is a major cause of coral mortality in Indonesia. Coral Reefs 32, 803–812. <https://doi.org/10.1007/s00338-013-1025-1>

Bejbom, O., Edmunds, P.J., Kline, D.I., Mitchell, B.G., Kriegman, D., 2012. Automated annotation of coral reef survey images, in: 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Presented at the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, Providence, RI, pp. 1170–1177. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6247798>

Bos, A.R., 2010. Crown-of-thorns Outbreak at the Tubbataha Reefs UNESCO World Heritage Site. Zoological Studies 49, 124.

Carmen, Ma., Ablan-Lagman, A., 2019. Chapter 26 - The Spratly Islands, in: Sheppard, C. (Ed.), World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition). Academic Press, pp. 583–591. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100853-9.00026-9>

Chansang, H., Boonyanate, P., Charuchinda, M., 1981. Effect of sedimentation from coastal

mining on coral reefs on the northwestern coast of Phuket Island, Thailand. Presented at the International Coral Reef Symposium, Manila (Philippines), 18-22 May 1981.

Chen, C.A., Ablan, M.C.A., McManus, J.W., Diepernk Bell, J., Tuan, V.S., Cabanban, A.S., Shao, K.T., 2004. Population Structure and Genetic Variability of Six Bar Wrasse (*Thallasoma hardwicki*) in Northern South China Sea Revealed by Mitochondrial Control Region Sequences. Mar. Biotechnol. 6, 312–326. <https://doi.org/10.1007/s10126-003-0028-2>

Chen, S.L., Kuo, C.Y., Chen, C.A., 2009. Spatial distribution and temporal variation of the cyanobacteriosponge, *Terpios hoshinota*, and benthos composition on the coral reefs of Green Island. Journal of National Park 19, 33–45.

Dai, C.F., Fan, T.Y., Wu, C.S., 1995. Coral fauna of Tungsha Tao (Pratas Islands). Acta Oceanographica Taiwanica 34, 1–16.

Dai C.F., Fan T.Y., 1996. Coral fauna of Taiping Island (Itu Aba Island) in the Spratlys of the South China Sea. Atoll Research Bulletin 436, 1–21

Diaz-Pulido, G., Harii, S., McCook, L.J., Hoegh-Guldberg, O., 2010. The impact of benthic algae on the settlement of a reef-building coral. Coral Reefs 29, 203–208. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0573-x>

Dumas, P., Bertaud, A., Peignon, C., Léopold, M., Pelletier, D., 2009. A “quick and clean” photographic method for the description of coral reef habitats. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 368, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.10.002>

English, S.S., Wilkinson, C.C., Baker, V.V., 1997. Survey manual for tropical marine resources. Australian Institute of Marine Science.

Erftemeijer, P.L.A., Riegl, B., Hoeksema, B.W., Todd, P.A., 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. Marine Pollution Bulletin 64, 1737–1765. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.008>

- Gomez, E.D., Yap, H.T., 1988. Monitoring reef condition. Coral Reef Management Hand Book. Unesco Regional Office for South East Asia. Jakarta 171–178.
- Gong, S. Y., Lee, C. S., Su, C. L., & Hu, C. H., 2006. Preliminary Study on the Holocene Carbonate Deposition of Taiping-Dao, Nansha (Spratly) Islands. 10th Symposium on Quaternary of Taiwan, p. 34-36.
- Harrington, L., Fabricius, K., De'Ath, G., Negri, A., 2004. Recognition and selection of settlement substrata determine post-settlement survival in corals. *Ecology* 85, 3428–3437.
- Heyward, A.J., Negri, A.P., 1999. Natural inducers for coral larval metamorphosis. *Coral Reefs* 18, 273–279. <https://doi.org/10.1007/s003380050193>
- Hill, J., Wilkinson, C., 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs: Version 1. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Hodgson, G., Dixon, J.A., 1988. Logging versus fisheries and tourism in Palawan : an environmental and economic analysis. n. Occasional papers of the East-West Environment and Policy Institute, Honolulu 7, 1–59.
- Hsieh, J.H.-Y., Wen, C.K.-C., Huang, Y.-C., Chen, K.-S., Dai, C.-F., Chen, C.A., 2016. Spatial patterns and environmental settings of non-reefal coral communities across the tropic of cancer in the penghu archipelago (Pescadores), Taiwan. *Zoological Studies* 55, 1–29.
- Jones, R., Bessell-Browne, P., Fisher, R., Klonowski, W., Slivkoff, M., 2016. Assessing the impacts of sediments from dredging on corals. *Marine Pollution Bulletin* 102, 9–29. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.049>
- Kohler, K.E., Gill, S.M., 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCE): A visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* 32, 1259–1269.
- Kuo, C.-Y., 2017. Adaptive strategies in reef-building corals (phd). James Cook University. <https://doi.org/10.25903/5bfb7e3342ccc>

Loya, Y., 1978. Plotless and transect methods. *Coral reefs: research methods*. UNESCO, Paris 197–217.

McManus, J.W., 2017. Offshore coral reef damage, overfishing, and paths to peace in the South China Sea. *The International Journal of Marine and Coastal Law*, 32, 199–237.
<https://doi.org/10.1163/15718085-12341433>

McManus, J.W., 1994. The Spratly Islands: a marine park? *Ambio* 32, 181–186.

McManus, J.W., 1992. The Spratly Islands: a marine park alternative. *Naga, the ICLARM Quarterly* 15, 4–8.

McManus, J.W., Meñez, L.A.B., 1997. The proposed international spratly island marine park: ecological considerations. Presented at the International Coral Reef Symposium, pp. 1943–1948.

McManus, J.W., Shao, K.T., Lin, S.Y., 2010. Toward establishing a Spratly Islands international marine peace park: ecological importance and supportive collaborative activities with an emphasis on the role of Taiwan. *Ocean Development & International Law* 41, 270–280.
<https://doi.org/10.1080/00908320.2010.499303>

Mora, C., Caldwell, I.R., Birkeland, C., McManus, J.W., 2016. Dredging in the Spratly Islands: gaining land but losing reefs. *PLoS Biology* 14, e1002422.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002422>

Morton, B., Blackmore, G., 2001. South China Sea. *Marine Pollution Bulletin* 42, 1236–1263.

Murdoch, T. T. (2007). A functional group approach for predicting the composition of hard coral assemblages in Florida and Bermuda. (phd). University of South Alabama.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22679.78249>

Pauly, D., Martosubroto, P., (Eds.), 1996. *Baseline studies of biodiversity: the fish resources of Western Indonesia*, ICLARM, Manila, Philippines.

Pollock, F.J., Lamb, J.B., Field, S.N., Heron, S.F., Schaffelke, B., Shedrawi, G., Bourne, D.G.,

Willis, B.L., 2014. Sediment and turbidity associated with offshore dredging increase coral disease prevalence on nearby reefs. PLOS ONE 9, e102498.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102498>

Porter, J., 2001. Detection of coral reef change by the Florida Keys coral reef monitoring project, in: The Everglades, Florida Bay, and Coral Reefs of the Florida Keys. CRC Press, pp. 773–794.

Pratchett, M.S., 2005. Dynamics of an outbreak population of *Acanthaster planci* at Lizard Island, northern Great Barrier Reef (1995–1999). Coral Reefs 24, 453–462.
<https://doi.org/10.1007/s00338-005-0006-4>

Reimer, J.D., Mizuyama, M., Nakano, M., Fujii, T., Hirose, E., 2011. Current status of the distribution of the coral-encrusting cyanobacteriosponge *Terpios hoshinota* in southern Japan. Galaxea, Journal of Coral Reef Studies 13, 35–44.
<https://doi.org/10.3755/galaxea.13.35>

Rutzler, K., Muzik, K., 1993. *Terpios hoshinota*, a new cyanobacteriosponge threatening Pacific reefs. Scientia Marina 57, 22.

Silvestre, G., Pauly, D., 1997. Management of tropical coastal fisheries in Asia: an overview of key challenges and opportunities, in: Workshop on Sustainable Exploitation of Tropical Coastal Fish Stocks in Asia. ICLARM, Manila, Philippines. pp. 8–25.

Song, Y.H., 2010. The South China Sea Workshop Process and Taiwan's Participation. Ocean Development & International Law 41, 253–269.
<https://doi.org/10.1080/00908320.2010.499296>

Tabugo, S.R.M., Manzanares, D.L., Malawani, A.D., 2016. Coral reef assessment and monitoring made easy using Coral Point Count with Excel extensions (CPCE) software in Calangahan, Lugait, Misamis Oriental, Philippines 10.

Talaue-McManus, L., 2002. Global change in the coastal zone: the case of Southeast Asia,

Challenges of a Changing Earth. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 101–105. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19016-2_17

Trygonis, V., Sini, M., 2012. photoQuad: a dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 424, 99–108.

Veron, J.E.N., Hodgson, G., 1989. Annotated checklist of the hermatypic corals of the Philippines. *Pacific Science* 43, 234–287.

Yang, S.Y., Chen, H.J., Ho, M.J., Chen, Y.J., Huang, Y.Y., Chow, W.H., Tang, S.L., Jeng, M.S., Chen, C.A., 2018. Outbreak of coral-killing cyanobacteriasponge, *Terpios hoshinota*, in Taiping Island (Itu Aba), Spratlys, South China Sea. *bms* 94, 1543–1544. <https://doi.org/10.5343/bms.2018.0023>

Zou, R.L., Chen, Y.Z., 1983. Preliminary study on the geographical distribution of shallow-water scleractinian corals from China. *Nanhai Studia Marina Sinica* 4, 89–96.

附件一 先期團隊島上海洋生態觀察重點

太平島的海洋生態調查研究會受到季節風浪的限制，特別是夏季的西南季風及冬季的東北季風都會產生巨浪，一年中僅有春季與秋季較適合進行潛水調查。春季的 4 月~6 月中時間較長，秋季的 9 月~10 月中較短，不過總共也只有 3~4 個月。此外，太平島的交通運輸並不便利，僅能依靠海巡署每個月 2~3 班的碧海專案船艦往返。一般單趟船期約 12 天，其中多數時間是在海上航行，在太平島僅停靠 4~6 天，而實際能夠用於海域研究調查的時間更短。因此在計畫執行上有相當多的限制及困難度。為使本計畫能夠獲得最豐富的結果，在主要團隊上島前，先安排前期人員進駐，熟悉島上及海域環境，提前準備研究相關的後勤支援，方便後續調查工作能夠順利進行。前期主要工作有 4 大項目：建置潛水調查設備量能，瞭解島上現有資源及相關規定，以及需要自行準備的設備器材。本計畫擬搜尋並延續使用 106 年計畫所建置的固定測站，確認位置及狀況，使調查結果能夠與歷史資料進行比較分析。潛水觀察本年度珊瑚礁生態系與過去的差異現象，討論及研擬相應的研究課題。進行水下高解析度影片錄製及照片拍攝，獲得的影像資料將用於進一步的鑑定分析，同時記錄本研究團隊前進太平島研究的過程。

太平島上的簡易研究站已在 107 年由科技部委託台灣大學及中山大學共同成立。研究站可借用設備包括灌充高壓空氣用空壓機、20 支潛水氣瓶、水上機車及停泊用浮動碼頭、小艇(Walker bay)及船外機、配重帶及鉛塊等等。此外，研究站具備大型實驗室空間及簡易設備，也可以提供 6 個房間共 28 個床位的住宿空間，以及主要生活用電器。相關設施及設備足夠供應本計畫團隊大部分的需求。在 106 年建置的全島 6 個固定測站，其中 4 個測站可由岸邊潛水抵達，2 個測站必須搭乘船舶潛水。此外，如果需要到太平島西南外側的暗礁群（最遠距離 7.4 公里）、中洲礁（最遠距離 5.4 公里）等海域調查，也必須使用到船舶。島上可以配合作業的船舶有海巡洋隊南沙分隊的 2 艘多功能小艇（可搭乘 3~4 名潛水人員），以及岸巡指揮部管轄的旗津一號接駁船（可搭乘 12~15 名潛水人員），均可以在不影響原有勤務下提供支援。雖然研究站也有水上機車及小艇，不過需具

備操作執照，而且載運能力不高，加上對海域環境不熟悉，並不適合本團隊自行借用操作。岸邊潛水部分，目前研究站缺乏運送器材設備的交通工具，本計畫前期人員已經攜帶 2 部大型手推車上島使用。

前期人員於 4 月 14 日搭乘偉星艦於高雄港出發，在 4 月 18 日抵達太平島，隨即開始進行潛水調查作業。駐島直到 5 月 21 日搭乘高雄艦離開，於 5 月 24 日返抵高雄。總行程共 41 天，其中在太平島上停留 34 天，潛水作業 31 天，累積潛水氣瓶數 65 支。已完成之初期勘查範圍為太平島西北到東北海域，長度約 1000 公尺；東南到西南海域，長度約 1100 公尺；太平島南側暗礁，長度約 200 公尺。前期潛水勘查過程中，也盡量尋找 106 年所建置的固定測站。在測線前後均釘置大型鋼釘，並綁上 2 公尺高的小浮球，方便後續尋回。在勘查過程中發現大部分定位鋼釘上的浮球已經流失，搜索相當困難，所幸在長時間持續重複進行下已尋獲 4 個測站（照片 1），並重新確定由岸邊下水後到各測站的路徑。不過目前並未重新掛上標示浮球，將視未來需要重新安裝。

觀察本年度珊瑚礁生態系與過去的差異現象，主要有 4 個比較大的發現，分別是黑皮海綿過度增生蔓延、魚類群聚出現變化、海龜數量大增與畏生、島西南側石珊瑚生長茂盛多樣。根據前期人員的觀察，在 103 年即發現有黑皮海綿侵襲，當時僅出現在島北西側礁台外邊緣的珊瑚緩坡上，覆蓋率約為該區石珊瑚面積的 5%，主要在水深 5~8 公尺範圍，其他區域則完全沒有。106 年調查過程中發現黑皮海綿有向全島擴散的趨勢。主要範圍還是在太平島北側的珊瑚緩坡上，已經由西向東蔓延到島北中央，島西側珊瑚緩坡上也有較大區域發生，這些區域的黑皮海綿覆蓋率高達石珊瑚面積的 15~20%。島北東側則有小區域發生，島東側、東南側及南側珊瑚斜坡上僅有相當零星發生。主要發生的水深範圍還是侷限在 4~8 公尺之間。本年度勘查發現，島北側珊瑚緩坡上的黑皮海綿已經擴大蔓延至島北東側，覆蓋率已經超過石珊瑚面積的 30%（照片 2）。水深範圍也擴大，由珊瑚緩坡向外到峭壁頂部（照片 3），最大水深可達 14 公尺。在 106 年調查到情況最嚴重的島北西側及中央，出現大片死珊瑚區域，表面覆蓋微細藻類，也開始有多種珊瑚幼生附著生長（照片 4）。綜觀太平島北側礁台外邊緣的珊瑚緩坡，由過去以茂密多樣的石珊瑚為

主，短短 5 年間變成如今以黑皮海綿及死珊瑚為主，活珊瑚呈現區塊狀分布。島東南及南側珊瑚斜坡上的黑皮海綿情況仍與 106 年相似，不過在此海域內的桌型軸孔珊瑚上出現絲狀藻類侵襲，並造成局部或全株珊瑚死亡（照片 5）。此外，本期有到中洲礁西南側暗礁海域進行潛水勘察，發現該處地形為潮溝及礁脊間雜，礁岩上有裸露的基質，散布石珊瑚及軟珊瑚。也有發現零星的黑皮海綿附生在石珊瑚表面（照片 6）。中洲礁北側的珊瑚緩坡與太平島北側地形相仿，值得特別調查黑皮海綿發生情況，藉由環境條件比較來探討發生的成因是否為區域性，或是與人類居住有相應的關連。

今年發現魚類群聚與過去有些差異。烏尾鯛數量銳減、體型也變小；掠食性魚類，例如浪人鯈、石斑魚等，數量明顯減少；未觀察到大體型成群的裸鰆聚集，僅有零星小個體出現。珊瑚礁主要組成魚種（雀鯛、隆頭魚、鸚哥魚、刺尾鯛等）則未出現太大變化。同時期在太平島南方海域常有大型燈火漁船作業，最多可達 30 艘以上，雖然遠在 3 海浬之外，是否與本期魚類群聚改變有關仍有待商榷。此外，在整個勘查期間的水中能見度均只有 10~12 公尺，相較於過去同期可達 25~30 公尺以上有天壤之別。海水濁度的增加是否預示南沙海域的海洋環境出現變異，進而影響魚類群聚，也有待進一步觀察。

雖然在前期調查中發現魚類群聚和底棲群聚的健康狀況明顯較 106 年差，綠蠵龜的數量較前年有明顯增加。最顯著的差異在研究人員穿越 250~400 公尺潮間帶期間所遭遇的數量，由 106 年的 1~3 隻，到本年最多可發現 6~7 隻以上。不過在潛水過程中，綠蠵龜明顯相當怕人。過去大都在 5 公尺左右才緩慢游開，甚至少數可以靠近到 2~3 公尺仍無反應。本年都是在距離 10 公尺以外就驚慌逃竄，根本無法靠近。推測綠蠵龜的數量增加可能與南沙海域有相當多島嶼進行建設有關，尤其岸邊填海造陸或水泥化，造成潮間帶海草床減少，導致綠蠵龜只能聚集到太平島海域攝食。也因為過去在別處島嶼可能常受到人為干擾，所以相對怕人。太平島因為岸邊建設少，仍保留大部分原始自然環境，反而成為鄰近綠蠵龜的庇護所，是否也會增加上岸產卵的母龜數量，仍待後續觀察。

島西南側珊瑚斜坡上的石珊瑚種類及覆蓋率也有明顯增加，應該是受到新建碼頭堤

防可以有效屏蔽西南湧浪侵襲所致。太平島碼頭自 103 年 4 月開始施工，到 105 年 1 月完工。碼頭未建之前，該處海域的礁岩表面大部分以藻類或石珊瑚殘骸為主，活珊瑚只有零星分布。隨著碼頭完工產生保護效應，石珊瑚開始大量生長，在 106 年尚無明顯差異，本年勘查發現變化相當大，尤其在水深 3~6 公尺範圍。本計畫在此處有一個固定測站，對照兩年的結果應該可以證明變化的趨勢。此區域等若新生的珊瑚群聚，與周邊長時間穩定發展下的原始群聚是否會有組成結構上的差異，也有待調查結果的分析比較。前述 4 個珊瑚礁生態系的改變，都值得研擬相應的議題，進行特別的研究與探討。

由 4 月 18 日到 5 月 20 日期間持續進行太平島海域潛水勘查及拍攝作業，獲得的高解析度照片及影片主要可以提供珊瑚、魚類、藻類、無脊椎動物等的物種鑑定使用，或用於估算珊瑚的多樣性或是黑皮海綿的覆蓋情況。此外，本期也拍攝許多廣角的地形照片，展示太平島各種海底地貌。未來可以從中選出最具特色的影像，檢附在報告中，作為文字描述的輔助。或是編輯剪接較具特色的影片，加上研究團隊於太平島研究的過程及結果，製作成果短片，作為太平島珊瑚礁生態系的介紹，以及海洋保育環境教育宣傳。



照片 1. 106 年建置的固定測站，當時在調查測線兩端均有釘置大型鋼釘，並綁上 2 公尺高的小浮球。此處為島南偏東段，當時的 L4 測站，水深 3 公尺。



照片 2. 太平島北側礁台外邊緣的珊瑚緩坡上有嚴重的黑皮海綿侵襲，右側為黑皮海綿，左側為健康的活珊瑚。此處為島北中央段，水深 8 公尺。



照片 3. 太平島北側礁台外的黑皮海綿侵襲已經從珊瑚緩坡向外蔓延到峭壁頂端，再往深已經少有活的石珊瑚分布。此處為島北偏東段，水深 14 公尺。

照片 4. 黑皮海綿侵襲過後出現的死珊瑚殘骸（照片後側），已經有軟珊瑚附著生



長。此處為島北偏西段，水深 6 公尺。



照片 5. 島南側海域內的桌型軸孔珊瑚上出現絲狀藻類侵襲，並造成局部或全株珊瑚死亡（照片左側及前方）。此處為島南中央段，水深 6 公尺。



照片 6. 在中洲礁西南側暗礁海域也有發現零星的黑皮海綿危害（照片中央及右側），左下方為健康的石珊瑚。該處水深 10 公尺。

附件二 期中報告審查意見回覆表

審查意見	機關回覆
<p>宋委員克義</p> <p>(一)太平島位置在南海中央,珊瑚大三角中,海洋生物多樣性全球最高,島為珊瑚礁,歷年調查不多,經文中整理國內的文獻,可對太平島有相當了解。中國大陸每年均有研究船前往南海,包含珊瑚礁調查團隊,若能整理其報告,當可收比較參考的效果,以此部分來補太平島現場勘查的困難,應更有綜觀南海全貌的功能。</p> <p>(二)珊瑚礁狀況比較仍以固定測站為優先,儘管標誌在海中經常受海況影響而消失,但仍須儘量配合陸上標誌、GPS..等等,以增加不同年代比較的意義,由於此困難出現在幾個監測計畫中,建議海保署可考慮「工作坊」以集思廣益,藉由多方經驗人士交換傳授原理和技巧。</p> <p>(三)在太平島工作受交通能量有限,海況受季風影響各方限制頗多,以下意見供參考</p> <p>1、未必要進行季節比較,因太平島緯度10°,屬熱帶,長期監測只要在海況最佳季節進行,就有比較的價值。</p> <p>2、目前所知,每年三至五月海況較佳,此時安排跨船次的停留,最有可能完成野外工作。</p> <p>3、島上研究站屬無人長期駐守的模式,各式小船工具由科技部計畫整備,使用人</p>	<p>(一) 謝謝委員的建議。</p> <p>(二) 由於關係到資料連續性,野外測站的標示問題一直都是計畫執行時最重要的部分。如果未來海保署有意願辦理工作坊,我們能夠配合提供必要的資訊與協助。</p> <p>(三)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝委員的建議。 2. 依照委員建議,已於期末報告中提出建議的監測時間,請參照第五章第二節(p.36)。 3. 已要求登島人員向站方回饋太平島研究站的裝備現況與使用經驗。 4. 水質量測如委員所述,容易因為時空與採樣方法不同而產生相當大的差異,列表只是在解說時讓聽者對島上水文情況有個大致上的概念,並沒有用來進行科學性的分析比較;先期團隊登島時的工作項目主要為探勘與尋回測站無調查,因此僅只用定性方式來對生物相做描述,而此一說明也僅做為參考用,詳細的變化需要進一步的調查,而主要研究團隊的調查結果皆以實地調查的底棲珊瑚群聚數據分析為主。

<p>經驗和意見若能儘速直接反映，改善機會大。</p> <p>4、水質測定受空間、時間影響大，年間比較更有團隊方法不同的頓處，不宜以一簡表以偏概全。定性描述須減少，例如”魚變少，魚變小。</p>	
<p>戴委員昌鳳</p> <p>(一)太平島地處偏遠，本計畫之順利進行，須請貴署協助安排船期及島上工作支援。</p> <p>(二)本期中報告已將歷年之南沙太平島生態調查資料做整理回顧，應可根據此回顧，提出未來南沙太平島生態監測資源保育及學術研究發展方向之建議。</p> <p>(三)本報告書寫的一些建議：</p> <p>1、可增加”摘要</p> <p>2、P8 第三行(圖 1)應是(圖 3)</p> <p>3、P17 「監測方法、頻率與項目之初步成果檢討」所述內容與 P7~8 有些矛盾，建議合併敘述。</p> <p>4、參考文獻有一些錯誤請修正。</p> <p>(四)2017 年的硝酸鹽、磷酸鹽的濃度較 2014 年增加的可能原因為何？分析方法來源如何？是否因調查方法或地點所致。</p>	<p>(一) 研究船期一直是進行南沙太平島最困難協調的部分，如日後有繼續太平島相關計畫，希望海保署能事先和海巡署協調安排有空檔的船期協助研究人員登島來執行計畫。</p> <p>(二) 已於期末報告中提出，請參照第六章(p.37)。</p> <p>(三)</p> <p>1. 已於期末報告中修正，請參照期末報告摘要(p.1)。</p> <p>2. 已於期末報告中修正所有圖說標號。</p> <p>3. 已於期末報告中修正，請參照期末報告群聚分析結果(p.20)。</p> <p>4. 已於期末報告中修正，請參照期末報告參考文獻(p.40)。</p> <p>(四) 如之前宋委員所提到，水質量測容易因為時空與採樣方法不同而產生相當大的差異；單純就島上的情況來討論的話，太平島上人員活動的頻率增加(駐守海巡人員與研究人員)為可觀察到的 2014 年與 2017 年最大的不同。</p>

	<p>2014 年的報告中並沒有提到營養鹽的測定方法，而 2017 年的水體營養鹽測定方法引用如下：</p> <p>『水體中 nitrate (NO₃) 的分析測定參考 Parson et al. (1984) 及 Chen et al. (1992) 之分析方法，以 Hydrazine Reduction 法還原後，用 Diazotization 比色法量測 543nm 吸光值；nitrite (NO₂) 的分析測定參考 Parson et al. (1984)，亦使用 Diazotization 比色法量測 543nm 吸光值。 phosphate (PO₄) 的測定參考 Murphy and Riley (1962) 的分析方法，為 Ascorbic Acid 比色法，使用 HACH 生產的 Phosver 3 phosphate reagent 與水樣反應後，量測 890 nm 吸光值。』，以浮潛方式在淺水區進行採樣。</p>
林主任秘書天賞	<p>(一) 由於先期團隊於四五月上島時已有拍攝部分照片與影片，如果真的因為不可抗力因素無法成行，會使用已拍攝的影片來估計底質類別的覆蓋率。</p> <p>(二) 已於期末報告中提出建議，請參照期末報告第五章(p.33)。</p>
柯勇全專門委員	<p>(一) 已補充於期末報告中。</p> <p>(二) 已補充於期末報告中，請參照第四章(p.25)。</p>

附件三 期末報告審查意見回覆表

機關意見	廠商回應
<p>宋委員克義</p> <p>(一) 可將中州上鳳頭燕鷗五月產卵列入紀錄。</p> <p>(二) 鄭和群礁並不屬於環礁。</p> <p>(三) 除了科研人員，島周的礁還有誰去潛水，甚至導致碑碟貝的”過漁”。</p> <p>(四) 調查及科研活動受限交通不便，非研究單位能解決。</p>	<p>(一) 已列入成果報告中。</p> <p>(二) 感謝委員指正，趙 1996 的調查報告中指出鄭和群礁為南沙群島中的其中一大環狀群礁，而位於鄭和群礁西北角的太平島北面具陡降的礁坡，東南面則地形較為平坦，的確具備了位於群礁邊緣島嶼的特色；但宮守業老師於 2009 年的「南沙太平島國家公園可行性評估報告」，在個人通訊中提到，從各石油公司在南沙群島南部和西南部進行地球物理測勘的震測剖面結果來看，目前被稱作環礁的這些群礁事實上是環繞一系列東北—西南走向的半地壘和半地壘高區所形成的，因此這些群礁也呈現東北-西南方向的延長。本計畫針對島周邊的底棲生態進行調查，對於島的地理位置僅作描述，對於環礁的字眼已於成果報告中修正。</p> <p>(三) 越南的漁民會使用保麗龍做成的小艇在相當靠近岸邊的地方捕魚或挖取碑碟貝。</p> <p>(四) 同意委員意見</p>
<p>戴委員昌鳳</p> <p>(一) 本計畫期末報告內容，基本上符合計畫目標，但報告之書寫尚須修訂。</p> <p>(二) 文獻回顧方面，1994 年的調查係由數組人員執行，珊瑚部分係由戴及樊執行，僅做定性調查及覆蓋率估計，引用及數據分析時，請補充說明或修正。</p> <p>(三) 珊瑚的功能群定義為何？請補充說明。</p> <p>(四) 一些用字和用語請修正。</p>	<p>(一) 已於成果報告中修正。</p> <p>(二) 已於成果報告中修正。</p> <p>(三) 本計畫中的珊瑚功能群主要是以型態來分。</p> <p>(四) 已於成果報告中修正。</p> <p>(五) 已於成果報告中修正</p>

<p>(五) P37 第 6 行”此區域由於人口快速增長，沿岸開發與不當利用嚴重...”，此句與前句似無關聯。</p>	
<p>林主任秘書天賞</p> <p>太平島珊瑚礁周遭有一些小島礁，由於有其他國家進行填海造陸工程，帶來之沉積物造成監測站之淤積，請就長期測站之未來規劃方向，提供相關建議。</p>	<p>本年度上島進行監測計畫時，在底質上並無發現明顯沉積物堆積，或是珊瑚已受到沉積物影響的狀況。建議先維持現有測站，之後可根據珊瑚礁監測計畫中所建議的調查方法(陳 2019)來增加不同深度的監測，並涵蓋可能被沉積物影響的範圍，再依據結果來做進一步的評估。</p>
<p>柯勇全專門委員</p> <p>(一) 長期監測模式的建立採用的方法穿越線樣框拍照、取樣法和作法，對比起珊瑚礁生態系調查計畫所建議的三種程度的調查，是否一致?</p> <p>(二) 永久測站的設置，目前已經有打了多少鋼釘於現場?</p>	<p>(一) 這個部分已和本單位另外執行的珊瑚礁監測計畫中提出的長期監測模式相配合，並在成果報告中提出一致的說法。</p> <p>(二) 目前的六個測站都已有設立固定穿越線，穿越線的架設方法為頭尾以及中間每五公尺都有打不鏽鋼營釘作為標記。</p>